Oberlin College Library,
JUL 23 1920
Not to be Drawn

PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 4. 15. Februar 1917. Redaktionsschluß für No. 5 am 24. Februar 1917. 18. Jahrgang.

INHALT:

Originalmitteilungen:

E. Budde, Resonanzerregung durch periodisch-wiederholte Impulse. S. 69.

O. Meißner, Über die jährliche Periode der mikroseismischen Bewegung. S. 73.

H. Rausch von Traubenberg, Über die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes bei sehr hohen Stromdichten. S. 75.

A. Imhof, Beiträge zur Kenntnis der Triboluminescenz. S. 78.

Besprechungen:

W. Capelle, Berges- und Wolkenhöhen bei griechischen Physikern. S. 91.

J. Dolder, Die Fortpflanzung des Lichtes in bewegten Medien. S. 91.

Aus Natur und Geisteswelt. Bd. 558 u. 559: N. Schmitt, Aufgaben aus der technischen Mechanik. S. 92.

Technisches Hilfsbuch von Schuchardt & Schütte. S. 92.

Personalien. S. 92.

Angebote. S. 92.

Gesuche. S. 92.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Resonanzerregung durch periodisch wiederholte Impulse.

Von E. Budde.

§ 1. Impulse im strengen Sinne des Wortes. Gegeben sei ein beweglicher Punkt von einem Freiheitsgrad, dem wir, weil die Masse im folgenden keine prinzipielle Rolle spielt, die Masse 1 zuschreiben. Seine Koordinate heiße x, seine Dämpfungskonstante $2b$, die Elastizitätskonstante sei $-q^2$, die Zeit t, so daß die Differentialgleichung seiner natürlichen Schwingung lautet

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2b\frac{dx}{dt} + q^2x = 0. \qquad (1)$$

Setzt man

$$q^2 - b^2 = p^2,$$

so sind ihre Integrale, wie bekannt,

$$x = e^{-bt}\{M\sin pt + N\cos pt\}, \qquad (2)$$

$$\frac{dx}{dt} = e^{-bt}\{-(bM+pN)\sin pt + (pM-bN)\cos pt\}, \qquad (3)$$

wo M und N die Integrationskonstanten sind. Es werde nun diesem Punkt zum erstenmal zur Zeit Null und dann in regelmäßigen Zeitabständen τ ein Impuls erteilt, der ihm in unendlich kurzer Zeit je einen Geschwindigkeitszuwachs u gibt. Unter der Wirkung dieser wiederholten Impulse wird sich offenbar nach langer Zeit eine Art von erzwungener Schwingung des Punktes herausstellen; die Gleichung dieser schließlichen Schwingung soll ermittelt werden.

Der Anfangszustand werde ganz allgemein dahin angenommen, daß die Konstanten M und N zur Zeit Null die Werte A und B haben; man erhält also die Gleichungen des Anfangszustandes nach dem ersten Impuls, wenn man in (2) und (3) $t=0$, $M=A$, $N=B$ setzt und auf der rechten Seite von (3) den Impuls u zufügt. So ergibt sich für den Augenblick nach dem Impuls

$$x_0 = B, \qquad (4)$$

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_0 = pA - bB + u. \qquad (5)$$

Für die Zeit $t=0$ bis $t=\tau$ bestimmten also (4) und (5) den Anfangszustand, und aus ihnen sind M und N zu berechnen. Nach (2) und (3) ist nun für den Augenblick $t=0$

$$x_0 = N,$$

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_0 = pM - bN.$$

Es ergibt sich also

$$N = B,\ pM - bN = pA - bB + u.$$

$$M = A + \frac{u}{p},$$

und damit wird die Schwingung während der Zeit 0 bis τ beschrieben durch die Gleichungen

$$x = e^{-bt}\left\{\left(A + \frac{u}{p}\right)\sin pt + B\cos pt\right\},$$

$$\frac{dx}{dt} = e^{-bt}\left\{-\left(bA + pB + \frac{bu}{p}\right)\sin pt + (pA - bB + u)\cos pt\right\}.$$

Nun folgt zur Zeit $t=\tau$ der zweite Impuls. Ist derselbe erteilt, so sind die Gleichungen für den neuen Anfangszustand im Augenblick $t=\tau$

$$x_\tau = e^{-b\tau}\left\{\left(A+\frac{u}{p}\right)\sin p\tau + B\cos p\tau\right\},$$

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_\tau = e^{-b\tau}\left\{-\left(bA+pB+\frac{bu}{p}\right)\sin p\tau + (pA-bB+u)\cos p\tau\right\}+u,$$

und wenn man hieraus wieder M und N bestimmt, so erhält man für die ungestörte Schwingung in dem Zeitraum τ bis 2τ die Werte

$$M = A+\frac{u}{p}\left(1+e^{b\tau}\cos p\tau\right), \qquad (6)$$

$$N = B-\frac{u}{p}\cdot e^{b\tau}\sin p\tau. \qquad (7)$$

Dieses Rechnungsverfahren läßt sich beliebig wiederholen und führt zu dem Ergebnis: Für die ungestörte Schwingung, welche auf den Moment $t = n\tau$ (n eine positive ganze Zahl) folgt, haben M und N die Werte

$$M = A+\frac{u}{p}\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n} e^{b\lambda\tau}\cos p\lambda\tau, \qquad (8)$$

$$N = B-\frac{u}{p}\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n} e^{b\lambda\tau}\sin p\lambda\tau. \qquad (9)$$

Beweis. Die Gleichungen (6) und (7) stimmen, wie man leicht sieht, mit diesen Formeln überein. Der allgemeine Beweis für die Richtigkeit von (8) und (9) kann also mittels des $(n+1)$-Verfahrens geführt werden. Wir nehmen an, zur Zeit $n\tau$ seien (8) und (9) erfüllt, nachdem der zugehörige Impuls erfolgt ist. Wir schreiben abkürzend

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n} e^{b\lambda\tau}\cos p\lambda\tau = R,$$

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n} e^{b\lambda\tau}\sin p\lambda\tau = S;$$

dann lauten die Gleichungen für die ungestörte Schwingung in der Zeit von $n\tau$ bis $(n+1)\tau$

$$x = e^{-bt}\left\{\left(A+\frac{u}{p}R\right)\sin pt + \left(B-\frac{u}{p}S\right)\cos pt\right\},$$

$$\frac{dx}{dt} = e^{-bt}\left\{\left(-bA-pB-\frac{bu}{p}R+uS\right)\sin pt + \left(pA-bB+uR+\frac{bu}{p}S\right)\cos pt\right\}.$$

Zur Zeit $(n+1)\tau$ ist also nach Zusatz des Impulses

$$x_{(n+1)\tau} = e^{-b(n+1)\tau}\left\{\left(A+\frac{u}{p}R\right)\sin p(n+1)\tau + \left(B-\frac{u}{p}S\right)\cos p(n+1)\tau\right\}, \qquad (10)$$

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_{(n+1)\tau} = e^{-b(n+1)\tau}\left\{\left(-bA-pB-\frac{bu}{p}R+uS\right)\sin p(n+1)\tau + \left(pA-bB+uR+\frac{bu}{p}S\right)\cos p(n+1)\tau + ue^{b(n+1)\tau}\right\}. \qquad (11)$$

Der Inhalt der geschweiften Klammer auf der rechten Seite von (10) werde abkürzend mit F, derjenige der Klammer von (11) mit G bezeichnet. Dann ergeben sich zur Bestimmung von M und N für die ungestörte Schwingung zwischen $(n+1)\tau$ und $(n+2)\tau$ die Gleichungen

$$M\sin p(n+1)\tau + N\cos p(n+1)\tau = F,$$

$$M\left[-b\sin p(n+1)\tau + p\cos p(n+1)\tau\right] - N\left[p\sin p(n+1)\tau + b\cos p(n+1)\tau\right] = G,$$

und damit findet sich leicht

$$pM = F\left[p\sin p(n+1)\tau + b\cos p(n+1)\tau\right] + G\sin p(n+1)\tau,$$

$$pN = F\left[-b\sin p(n+1)\tau + p\cos p(n+1)\tau\right] - G\cos p(n+1)\tau.$$

Die Ausrechnung ergibt

$$M = A+\frac{u}{p}R+\frac{u}{p}e^{b(n+1)\tau}\cos p(n+1)\tau,$$

$$N = B-\frac{u}{p}S-\frac{u}{p}e^{b(n+1)\tau}\sin p(n+1)\tau.$$

Mit Rücksicht auf die Bedeutung von R und S ist das

$$M = A+\frac{u}{p}\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n+1} e^{b\lambda\tau}\cos p\lambda\tau,$$

$$N = B-\frac{u}{p}\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n+1} e^{b\lambda\tau}\sin p\lambda\tau,$$

und damit sind die Gleichungen (8) und (9) bewiesen. Für die ungestörte Schwingung,

welche mit dem Augenbliek $t = n\tau$ beginnt, folgt also

$$x = e^{-\delta t}\left\{\left[A + \frac{u}{p}\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n}\left(e^{\delta\lambda\tau}\cos p\lambda\tau\right)\right]\sin pt\right.$$
$$\left. + \left[B - \frac{u}{p}\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n}\left(e^{\delta\lambda\tau}\sin p\lambda\tau\right)\right]\cos pt\right\}. \quad (12)$$

Das t, für welches diese Gleichung gilt, liegt zwischen $n\tau$ und $(n+1)\tau$; versteht man also unter ε einen variablen echten Bruch, so kann man statt $e^{-\delta t}$ schreiben $e^{-\delta(n+\varepsilon)\tau}$ und damit formt sich die vorstehende Gleichung um in

$$x = e^{-\varepsilon\delta\tau}\left\{\left[Ae^{-n\delta\tau} + \frac{u}{p}e^{-n\delta\tau}\cdot\right.\right.$$
$$\left.\cdot\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n}e^{\delta\lambda\tau}\cos p\lambda\tau\right]\sin pt$$
$$\left. + \left[Be^{-n\delta\tau} - \frac{u}{p}e^{-n\delta\tau}\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n}e^{\delta\lambda\tau}\sin p\lambda\tau\right]\cos pt.\right.$$

Der Spezialfall, auf den sich das Hauptinteresse konzentriert, ist nun der, daß die Periode τ der Impulse mit derjenigen der ungestörten Schwingung unseres Punktes übereinstimmt, das heißt der Fall $p\tau = 2\pi$. Tritt dieser ein, so sind alle in den beiden vorstehenden Summen Σ vorkommenden Cosinus $= 1$, alle Sinus $= 0$. Zugleich ist $pt = 2n\pi + p\varepsilon\tau$, und $\varepsilon\tau$ ist die vom letzten Impuls ab gezählte Zeit. Bezeichnen wir diese mit T, so wird demnach

$$x = e^{-\delta T}\left\{(A+B)e^{-n\delta\tau} + \frac{u}{p}\left[e^{-n\delta\tau} + e^{(1-n)\delta\tau} + \ldots\right.\right.$$
$$\left.\left. \ldots e^{-\delta\tau} + 1\right]\right\}\sin pT. \quad (13)$$

Läßt man hierin n unendlich werden, so verschwindet der Faktor von $A+B$, und wenn man zugleich die in der eckigen Klammer enthaltene Reihe von rechts nach links liest, so bleibt

$$x = e^{-\delta T}\frac{u}{p}\sum_{\nu=0}^{\nu=\infty}e^{-\nu\delta\tau}\cdot\sin pT. \quad (14)$$

Die Reihe

$$\sum e^{-\nu\delta\tau}$$

ist offenbar absolut konvergent und hat den Wert

$$\frac{1}{1-e^{-\delta\tau}}.$$

Schließlich ergibt sich also

$$x = \frac{e^{-\delta T}}{1-e^{-\delta\tau}}\frac{u}{p}\sin pT. \quad (15)$$

Aus dieser Gleichung ist n verschwunden. Sie gilt demnach von einem sehr großen Wert von n ab für jede folgende Einzelschwingung zwischen zwei Impulsen, und, wie man sieht, ist sie jedesmal identisch mit der Gleichung einer gewöhnlichen gedämpften Schwingung von der Anfangsamplitude

$$\frac{u}{p(1-e^{-\delta\tau})}.$$

Es ist aber nicht zu vergessen, daß sie eben nur den Zustand für die einzelne ungestörte Schwingung darstellt, welche auf jeden Einzelimpuls folgt. Die in dem Faktor $e^{-\delta T}$ ausgedrückte Dämpfung kommt also nur für je eine Schwingung in Betracht, und, nachdem diese vorübergegangen, beginnt eine neue Schwingung mit dem alten Anfangszustand der Amplitude

$$\frac{u}{p(1-e^{-\delta\tau})}.$$

Ist $b\tau$ nicht groß, so kann man die Dämpfungswirkung während der Einzelperiode τ vernachlässigen; sie wird durch jeden neuen Impuls wieder vernichtet, und dann ergibt sich

$$x = \frac{u}{p(1-e^{-\delta\tau})}\sin pT, \quad (16)$$

wo nunmehr T von einem beliebigen (großen) n ab gezählt werden kann. Demnach stellt sich die Wirkung der periodisch wiederholten Impulse in Gestalt einer gewöhnlichen Resonanzgleichung dar.

§ 2. Periodischer Antrieb durch eine Reihe stark gedämpfter Schwingungen. An die Stelle des in Strenge unendlich kurzen Impulses, der im vorigen Paragraphen behandelt wurde, möge nun ein kurzer Zug von stark gedämpften Wellen kleiner Periode treten, die erregend auf den beweglichen Punkt wirken. Die Dämpfung derselben sei so groß, daß man annehmen kann, nach wenigen Schwingungen sei ihre Wirkung praktisch erschöpft. Darin kann die Gesamtheit dieser erregenden Wellen offenbar als ein Impuls behandelt werden, dessen Integralbetrag festzustellen ist. Wir wollen annehmen, die Kraft, welche der erregende Wellenzug auf den beweglichen Punkt ausübt, beginne zur Zeit Null mit der Elongation Null und sei im Anfang positiv gerichtet. Dann läßt er sich darstellen durch die Formel $E e^{-kt}\sin mt$ und seine Integralwirkung ist offenbar auszudrücken durch

$$u = E\int_0^\infty e^{-kt}\sin mt\,dt\,. \qquad (17)$$

Die unbestimmte Integration dieses Ausdrucks ergibt sich leicht, wenn man den Sinus als Exponentialfunktion ausdrückt, und liefert

$$-\frac{E\,e^{-kt}}{m^2+k^2}[m\cos mt + k\sin mt]\,. \qquad (18)$$

Setzt man die Grenzen ein, so ergibt sich

$$u = \frac{mE}{m^2+k^2}\,. \qquad (19)$$

Ein gedämpfter Wellenzug liefert also tatsächlich einen angebbaren Integralimpuls. Das ist auch leicht geometrisch einzusehen. Man denke sich eine Achse der Zeit aufgezeichnet und den Wert der Kraft als Ordinate über und unter derselben aufgetragen. Beginnt die Figur der gedämpften Sinusoide mit einem positiven Ausschlag nach oben, so sind die positiven Flächen, welche zwischen der Achse und den über ihr liegenden Kurventeilen liegen, sämtlich größer als die auf sie folgenden negativen. Die Differenz zwischen dem Gesamtinhalt der positiven und der negativen Flächen bildet den in Gl. (19) angegebenen Integralantrieb, der, wenn er kurz genug ist, annäherungsweise als Impuls behandelt werden kann.

Natürlich ist nicht erforderlich, daß die erregende Welle mit der Elongation Null anfängt. Es sind auch Erregungen denkbar (z. B. durch explosionsartige Vorgänge), die mit größerer Annäherung dargestellt werden durch einen Wellenzug, der mit maximaler Elongation (Verdichtungswelle) beginnt. Sie werden besser dargestellt, indem man dem Integral in Gl. (17) die untere Grenze $\pi/2m$ gibt. Dann erhält man offenbar für den Impuls den Wert

$$u = E\,e^{-\frac{k\pi}{2m}}\cdot\frac{k}{m^2+k^2}\,. \qquad (20)$$

Zur Vervollständigung ist noch die Frage aufzuwerfen, wie weit ein gegebener Antrieb der hier besprochenen Art als „kurz" behandelt werden kann. M. a. W., es ist die Frage zu stellen: Welcher Anteil des in Gl. (17) oder (20) ausgedrückten Antriebes wird vernachlässigt, wenn man als obere Grenze statt ∞ eine endliche Zeit t_1 einsetzt? Es wird genügen, dieses für Gl. (17) zu erörtern. Bis auf den Faktor E ist der vernachlässigte Teil offenbar

$$\int_{t_1}^{\infty} e^{-kt}\sin mt\,dt\,,$$

und dies ist mit (18)

$$\frac{e^{-kt_1}}{m^2+k^2}(m\cos mt_1 + k\sin mt_1).$$

Stellt man sich die Figur der gedämpften Sinusoide vor; so sieht man leicht, daß die vernachlässigte Größe ein relatives Maximum erreicht, wenn t_1 gerade in das Ende einer vollständigen oder einer halben Periode fällt. Wir setzen etwa

$$t_1 = \lambda\frac{2\pi}{m}\,,$$

wo λ eine ganze Zahl ist. Dann ist die gesuchte Größe

$$\frac{m}{m^2+k^2}e^{-\frac{2\pi\lambda k}{m}}\,.$$

Sie ist mit dem Gesamtbetrag

$$\frac{m}{m^2+k^2}$$

der Gl. (17) zu vergleichen. Sie ist offenbar der $e^{-\frac{2\pi\lambda k}{m}}$te Teil davon. Ist nun $\frac{1}{\zeta}$ ein echter Bruch und soll die Amplitude in der Zeit einer ganzen Schwingung auf das $\frac{1}{\zeta}$-fache ihres Betrages herabgehen, so haben wir zur Bestimmung von k die Gleichung

$$e^{-\frac{2\pi k}{m}} = \frac{1}{\zeta}\,,$$

also

$$k = \frac{m}{2\pi}\log\text{nat}\,\zeta\,,$$

und damit ergibt sich für den fraglichen Bruch der Wert $e^{-\lambda\log\text{nat}\,\zeta}$. Nimmt man also beispielsweise an, die Dämpfung sei so groß, daß die Amplitude nach einer Schwingung auf $^1/_{10}$ reduziert ist, so ist der vernachlässigte Anteil nach drei Schwingungen $e^{-3\log\text{nat}\,10} = e^{-6{,}9}$, das ist rund $^1/_{1000}$. Setzt man $\zeta = 2$, so wird derselbe Wert nach rund zehn Schwingungen erreicht. Die Zahlen geben einen ungefähren Anhalt für den Begriff der Kürze beim fraglichen Wellenzug.

§ 3. Anwendungen. Eine bekannte, auf die Erfahrung gestützte Erwägung von Helmholtz besagt: „Ist ein stationärer Ton von der Schwingungszahl n gegeben und wird derselbe in der Art unterbrochen, daß p mal in der Sekunde eine endliche Strecke des Wellenzuges in das Ohr gelangt, so hört man nicht den Unterbrechungston von der Schwingungszahl p, sondern den primären Ton von der Schwingungszahl n." Dieser Satz hat aber zur Vor-

aussetzung, daß der primäre Ton n stationär sei. Ist derselbe sehr stark gedämpft, so zeigen die vorstehenden Betrachtungen, daß er seine Gültigkeit verliert. Fälle, wie die folgenden, stehen also nicht im Widerspruch mit der Helmholtzschen Resonanztheorie des Hörens, sondern ordnen sich ihr unter:

a) Das Summen eines Teekessels. Der Kessel summt, solange an einer Stelle desselben zahlreiche kleine Dampfbläschen sich in regelmäßiger Reihenfolge von der Kesselwand losreißen und sofort nach dem Abreißen wieder kondensiert werden. Der Prozeß des Abreißens und Verschwindens liefert für jedes Bläschen eine stark gedämpfte Schwingung, die wohl hauptsächlich deshalb hörbar wird, weil ihr die Kesselwand als Resonanzboden dient. Nun hat zwar diese Kesselwand sicherlich eine eigene Schwingungszeit, aber die Schwingung, welche dem einzelnen Ton entspricht, ist durch das aufliegende Wasser stark gedämpft, und somit ist es ganz der Theorie gemäß, wenn in diesem Fall der Unterbrechungston als Summen zur Wahrnehmung kommt.

b) Eine ganz analoge Betrachtung gilt für die Baumgartenschen Reflexionstöne. In einem oben offenen Gange oder Hohlweg, der seitlich durch zwei parallele Wände begrenzt ist, liefert jeder Fußtritt einen sehr stark gedämpften Wellenzug, der, von den Wänden hin- und hergeworfen, als periodischer Impuls auf das Ohr wirkt.

c) Soviel mir bekannt, ist der folgende Versuch noch nicht gemacht, der Erfolg desselben wird aber von der Theorie gefordert: Man lasse an einer Stelle des Raumes in der Sekunde p kurze elektrische Funken überschlagen; dann muß ein Ton von der Schwingungszahl p hörbar werden. (Natürlich handelt es sich dabei nicht um langsame elektrische Schwingungen, sondern um knallende, wenn auch vielleicht kleine Funken von so kurzer Dauer, daß der Schalleffekt des ersten Funkens zu Ende ist, ehe der zweite an die Reihe kommt.)

d) Ferner gehört hierher das Kartenblatt, welches an die Zähne eines rotierenden Zahnrades anschlägt, und ähnliche Mittel zur Erzeugung eines mehr oder weniger dauernden Tones.

(Eingegangen 29. Januar 1917.)

Über die jährliche Periode der mikroseismischen Bewegung.

Von Otto Meißner.

Während man der täglichen Periode der mikroseismischen Bewegung bisher wenig Aufmerksamkeit geschenkt hat[1]), ist ihre jährliche Periode lange bekannt, aber, soweit ich sehen kann, doch noch nicht genauer untersucht. Da aber die Monatsmittel mehrerer Jahre schon einen ziemlich regelmäßigen Verlauf zeigen, schien mir eine Berechnung der harmonischen Konstituenten des jährlichen Ganges nicht unangebracht. Benutzt sind die Stationen Upsala, Hamburg, Potsdam, Graz; das Nähere ist aus Tabelle 1 ohne weiteres ersichtlich.

Berechnet man nun die Koeffizienten der jährlichen und halbjährlichen Periode, so erhält man die in Tabelle II niedergelegten Ergebnisse.

Hierzu ist bezüglich der Phase noch zu bemerken: i. a. rechnet man: Januar $= 0^0$, Februar $= 30^0$ usw. und der Bequemlichkeit wegen habe ich dies bei der Rechnung ebenso gemacht.

Tabelle I.

Monatsmittel der Amplitude der mikroseismischen Bewegung in μ.

Ort, Zeitraum	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Upsala 1907 1912	0,90 ± 0,07	0,71 ± 0,11	0,41 ± 0,08	0,28 ± 0,05	0,06 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,26 ± 0,04	0,38 ± 0,04	0,45 ± 0,05	0,45 ± 0,04
Hamburg 1909 1911	7,0 ± 0,2	5,2 ± 0,9	3,3 ± 0,5	2,6 ± 0,3	1,1 ± 0,0	0,6 ± 0,1	0,5 ± 0,0	0,5 ± 0,1	1,8 ± 0,4	3,4 ± 0,2	4,1 ± 0,7	4,8 ± 0,2
Potsdam 1905 1909 *)	1,31	1,10	0,56	0	0	0	0	0	0	0,34	0,70	1,62
Potsdam 1913 1916	0,76 ± 0,14	0,71 ± 0,11	0,58 ± 0,13	0,54 ± 0,12	0,20 ± 0,07	0,12 ± 0,06	0,07 ± 0,02	0,19 ± 0,12	0,37 ± 0,07	0,58 ± 0,26	0,70 ± 0,24	0,60 ± 0,19
Graz 1907 1915 **)	0,68 ± 0,07	0,56 ± 0,06	0,29 ± 0,05	0,09 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,03 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,25 ± 0,03	0,40 ± 0,05

*) Wegen anderer Berechnungsweise mit den übrigen Tabellenwerten nicht streng vergleichbar.
**) Jahr 1914 fällt aus.

1) Vgl. meine Bemerkung darüber diese Zeitschr. 17, 400—402, 1916.

in Tabelle II aber dem Januar 15°, Februar 45° usw. zugeordnet, was nach A. Schmidt[1]) „sicherlich das Natürlichste" ist, da ja doch die Mittelwerte der mikroseismischen Bewegung (an sich Integralwerte für keinen Zeitpunkt, sondern den Zeitraum Januar 1—31!) der Mitte des betr. Monats zugeordnet werden müssen und man doch wohl dem Jahresanfang die Phase 0° geben wird!

Was, um mit dem weniger Wichtigen anzufangen, die halbjährliche Periode betrifft, so zeigt sie an den einzelnen Stationen keine große Übereinstimmung, aber die Darstellung wird, wie die Summe der Quadrate der übrigbleibenden Fehler zeigt, bei Mitnahme der $^1/_2$jährlichen Periode ($[\varepsilon\varepsilon]_2$) bedeutend kleiner als ohne diese ($[\varepsilon\varepsilon]_1$); immerhin dürfte sie nur von örtlicher Bedeutung sein.

Die Phase der jährlichen Periode stimmt dagegen bei allen Stationen sehr gut überein, insbesondere, wenn man bedenkt, daß die Zeiträume für die Stationen verschieden (und auch ungleich lang) sind; die Abweichung vom Mittelwerte 9° beträgt nur ± 4 bis 5°: Anfang (in Graz Mitte) des Jahres ist das Maximum der mikroseismischen Bewegung. Diese bemerkenswerte Übereinstimmung der Phase bei Stationen, die sich über 20° in Breite unterscheiden und teils dem Weltmeere nahe, teils im Binnenlande liegen, läßt die Verallgemeinerung, daß die Phase der mikroseismischen Bewegung in ganz Nord- und Mitteleuropa gleich ist, als nicht zu kühn erscheinen. Ihr Ursprung kann also unmöglich örtlicher Natur sein; die Amplitude ist in der Küstenstation Hamburg viel größer als im Binnenlande, aber ich habe mehrfach an anderer Stelle gezeigt, daß ein direkter Zusammenhang mit dem Seegang gleichwohl nicht anzunehmen ist. —

Die Periode der einzelnen Wellen der mikroseismischen Bewegung, die ich hier zur Vermeidung von Unklarheiten als „Wellenperiode" bezeichnen will, hängt nun, wie übrigens lange bekannt ist, von der Amplitude ab, und zwar

Tabelle II.

Station	Zeitraum	a_0	a_1	φ_1	a_2	φ_2	$[\varepsilon\varepsilon]_1$	$[\varepsilon\varepsilon]_2$
Upsala	1907—1912	0,34 μ	0,33 μ	9°	0,09 μ	82°	0,1225	0,0750
Hamburg	1909—1911	2,89	2,80	9	0,33	30	3,16	2,61
Potsdam	1905—1909	0,47	0,52	2	0,29	11	0,8787	0,3791
Potsdam	1913—1916	0,45	0,32	7	0,08	185	0,0598	0,0262
Graz	1907—1915	0,20	0,30	17	0,12	45	0,0959	0,0179

Mikroseismische Bewegung $= a_0 + a_1 \cos(30t - \varphi_1) + a_2 \cos(60t - \varphi_2)$; Januar $t = 1/2$, Februar $t = 1\,1/2$ usw.

Tabelle III.

Monatsmittel der Wellenperiode der mikroseismischen Bewegung in Sekunden.

Ort, Zeitraum	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Upsala 1907/1912	5,30 ± 0,12	5,12 ± 0,13	4,95 ± 0,13	4,70 ± 0,05	4,55 ± 0,19	4,60 ± 0,15	4,20 ± 0,10	4,02 ± 0,14	4,58 ± 0,14	4,60 ± 0,09	4,63 ± 0,11	4,85 ± 0,09
Hamburg 1909/1911	6,2 ± 0,0	5,9 ± 0,1	5,6 ± 0,2	5,5 ± 0,0	5,1 ± 0,2	4,7 ± 0,2	4,8 ± 0,2	4,5 ± 0,3	5,3 ± 0,2	5,5 ± 0,1	5,5 ± 0,2	5,9 ± 0,1
Potsdam 1913/1916	4,97 ± 0,31	4,94 ± 0,31	4,52 ± 0,05	4,63 ± 0,17	4,29 ± 0,08	4,34 ± 0,05	4,26 ± 0,11	4,39 ± 0,09	4,39 ± 0,12	4,75 ± 0,21	4,83 ± 0,18	4,73 ± 0,09

Tabelle IV.

Station	Zeitraum	t_0	t_1	$[\varepsilon\varepsilon]$	a_0	a_1	φ_1	$[\varepsilon\varepsilon]$
Upsala	1907—1912	4,29s	1,13s	0,35 (sec²)	4,68s	0,44s	31°	0,25 (sec²)
Hamburg	1909—1911	4,69	0,23	0,23	5,38	0,70	27	0,53
Potsdam	1913—1916	4,16	0,95	0,08	4,59	0,32	3	0,13

Wellenperiode $T = t_0 + t_1 A$ (Amplitude in μ). $T = a_0 + a_1 \cos(30t - \varphi)$.

1) Ergebnisse der magn. Beobachtungen in Potsdam und Seddin 1900—1910, S. 41.

wächst sie mit dieser. Sie muß infolgedessen gleichfalls einen jährlichen Gang haben; das ist auch der Fall, wie Tabelle III zeigt.

Will man diese Beziehungen der Rechnung unterwerfen, so kann man einmal die Wellenperiode T (in Sekunden) als lineare Funktion der Amplitude A (in $\mu = 0{,}001$ mm) ausdrücken; man kann aber auch den jährlichen Gang der Wellenperiode selber in der Form $T = a_0 + a_1 \cos(30\,t - \varphi)$ berechnen, wobei wieder wie oben für Januar, Februar ... $t = {}^1/_2$, ${}^1/_2$ ... zu setzen ist. (Eine halbjährliche Periode ist hier kaum vorhanden.) Die Ergebnisse zeigt Tabelle IV.

Die Abhängigkeit der Wellenperiode von der Amplitude der mikroseismischen Bewegung ist hiernach in Potsdam und Upsala etwa gleich groß, in Hamburg viel geringer; dort ist auch der jährliche Gang der Wellenperiode verhältnismäßig schwächer als der der Amplitude. Was den jährlichen Gang der Wellenperiode selbst betrifft, so weicht seine Phase zwar von der der Amplitude ab, aber ein Schluß kann hieraus wohl kaum gezogen werden; für Potsdam, wo die Abweichungen „Beobachtung — Rechnung" am kleinsten sind, stimmen auch die Phasen am besten überein.

Zusammenfassung. Der jährliche Gang der mikroseismischen Bewegung stimmt bezüglich seiner Phase in Upsala, Hamburg, Potsdam und Graz, also wohl in ganz Nord- und Mitteleuropa, überein: er zeigt ein Maximum kurz nach Jahresanfang. Die Mitnahme eines halbjährlichen Gliedes verbessert die Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung merklich, doch ist dies Glied offenbar örtlich bedingt. Auch die Wellenperiode zeigt einen jährlichen Gang, wie das nicht anders sein kann, da sie eine lineare Funktion der Amplitude ist.

Geodät. Institut Potsdam, 3. Februar 1917.

(Eingegangen 10. Februar 1917.)

Über die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes bei sehr hohen Stromdichten.

Von Heinrich Rausch von Traubenberg.

Die Frage nach der Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes in metallischen Leitern bei sehr hohen Stromdichten ist schon früher Gegenstand experimenteller Untersuchungen gewesen.

In der neueren Zeit wurde von Lecher[1]) die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes bei dünnen Silberdrähten bei sehr starker Strombelastung geprüft; er setzte solche Drähte von 0,03 mm Durchmesser in schnell fließendem Wasser Stromstärken bis zu 10 Amp. aus und erreichte auf diese Weise Stromdichten bis $1{,}4 \cdot 10^4$ Amp./qmm.

Da sich eine Erwärmung der Drähte nicht völlig vermeiden ließ, trat der quantitative Zusammenhang zwischen Strom und Spannung (wegen des Temperaturkoeffizienten des Materials) und der ungenau definierten Temperatur des Drahtes nicht sehr exakt zutage.

Nach der Elektronentheorie der metallischen Leitung würden allerdings Abweichungen vom Ohmschen Gesetz erst bei ganz wesentlich größeren Stromdichten bzw. Feldstärken zu erwarten sein. J. J. Thomson[1]) hat berechnet, wann die von Drude und anderen gegebene, dem Ohmschen Gesetz entsprechende Beziehung zwischen Stromdichte j und Feldstärke x

$$j = \frac{1}{2} n \frac{e^2}{m} x \frac{\lambda}{v} \qquad (I)$$

aufhört Gültigkeit zu haben (dabei bedeutet n die Anzahl Elektronen pro Volumeinheit, e und m ihre Ladung und Masse, λ ihre freie Weglänge, v ihre Geschwindigkeit infolge der Temperaturbewegung).

Ist nun die elektrische Kraft so groß, daß die Geschwindigkeit, die das Elektron auf einer freien Weglänge erfährt, groß wird im Vergleich zur thermischen Geschwindigkeit, so geht der Ausdruck (I) über in:

$$j = ne\sqrt{\frac{ex\lambda}{2m}}, \qquad (II)$$

d. h. die Stromdichte ist nicht mehr der Feldstärke bzw. Spannung, sondern ihrer Quadratwurzel proportional. Bei $n = 10^{21}$ Elektronen pro ccm und $\lambda = 10^{-7}$ cm würde das bei einer Feldstärke von 10^6 Volt/cm eintreten.

Die Erreichung dieser extremen Grenze erscheint allerdings experimentell hoffnungslos; da aber die in Berechnung eingehenden Größen (n und λ) sehr unsicher sind, außerdem der Mechanismus der metallischen Leitung noch sehr hypothetisch ist, so war eine weitere Prüfung des Ohmschen Gesetzes bei großen Stromdichten nicht unnötig. Im folgenden wird eine Methode zur Erreichung dieses Zieles gegeben.

Die Strombelastbarkeit ließ sich nach der Lecherschen Methode trotz hydrodynamisch rationell konstruierter Strömungsdüse nicht mehr wesentlich steigern; es wurde deswegen auf eine künstliche Kühlung überhaupt verzichtet, und die Stromwärme *keit* bei großem e und i möglichst klein gemacht, dieses ließ sich durch

1) Lecher, Berichte der Wiener Akademie der Wissenschaften, 1907.

1) J. J. Thomson, Korpuskulartheorie der Materie, Braunschweig 1908, S. 52.

Ersatz des stationären Stromes durch sehr kurzdauernde gedämpfte elektromagnetische Schwingungen ohne weiteres erreichen.

Die maximale Stromamplitude I_0 (Amp.) in einem Schwingungskreise von der Kapazität C (Farad), Entladespannung V_0 (Volt) und Frequenz N, ist bei kleiner Dämpfung gegeben durch:

$$I_0 = 2\pi N C V_0 = \frac{V_0}{2\pi N L} \qquad \text{(III)}$$

ist die Dämpfung groß, so besteht dieser einfache Zusammenhang nicht mehr, sondern muß ersetzt werden durch

$$I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{(w - L\delta)^2 + (2\pi N L)^2}}, \qquad \text{(IV)}$$

hierin bedeutet w den effektiven Ohmschen Widerstand, L den Selbstinduktionskoeffizenten der Strombahn und δ den Dämpfungsfaktor.

Schaltet man nun in die Strombahn eines Schwingungskreises einen Ohmschen Widerstand w ein, so muß bei Durchgang des Stromes I_0 eine maximale Spannungsamplitude $I_0 w = V$ auftreten.

Falls $I_0 w$ und V gemessen werden können, kann die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes auch bei diesen kurzdauernden Strömen ermittelt werden.

Fig. 1 zeigt die Schaltung des Schwingungskreises:

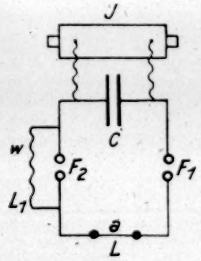


Fig. 1.

Der Induktor J lud die Kapazität C (zwei mittlere Leydener Flaschen) zur Einsatzspannung V_0, die am Funkenmikrometer F_1 eingestellt werden konnte, auf; das Funkenmikrometer F_2 war mit dicken kurzen Verbindungen parallel zum Ohmschen Widerstand w angebracht. Die beiden sehr exakten Funkenmikrometer — deren genauere Beschreibung gesondert gegeben werden soll, — hatten Kugeln von 1 cm Radius mit Magnesiumkalotten und waren so aufgestellt, daß der Entladungsfunke bei F_1 den bei F_2 belichtete, um den Entladungsverzug zu unterdrücken; durch diese Aufstellung erreichte ich, daß das Funkenmikrometer F_2, welches ja die maximale $I_0 \times w$-Spannung an den Enden von w anzeigte, auf wenige Hundertstel nun genau ansprach. Nun mißt man mit der Funkenstrecke F_2 nicht allein die Ohmsche Spannung an den Enden des Widerstandes w, sondern, da die Zuleitungen und der Widerstand selbst eine gewisse Selbstinduktion L_1 besitzen, die resultierende Reaktanzspannung

$$V_R = I_0 \sqrt{(w - L_1\delta)^2 + (2\pi N L_1)^2}.$$

Bei einem Selbstinduktionskoeffizenten $L_1 < 1{,}30 \cdot 10^{-7}$ Henry bei einer Frequenz $N = 1.46 \cdot 10^6$, $w = 2{,}90\ \Omega$ und einem logarithmischen Dekrement $\vartheta = 0{,}60$, erhalten wir für

$$\sqrt{(w - L_1\delta)^2 + (2\pi N L_1)^2} = 3{,}03\ \Omega$$

statt $2{,}90\ \Omega$, wir können somit bei unserer nicht sehr weitgehenden Meßgenauigkeit die am Funkenmikrometer F_2 abgelesene Spannung als reine Ohmsche Spannung in Rechnung setzen, da auch der Skineffekt bei dem hier verwendeten Material (Konstantan, bei Drahtdurchmessern $\leq 0{,}1$ mm) und Frequenzen nicht in Frage kam.

Wählen wir (z. B.) $C = 0{,}454 \cdot 10^{-8}$ Farad, $N = 1{,}46 \cdot 10^6$, $V_0 = 5$ mm $= 17\,800$ Volt, so wird $I_0 = 742$ Amp.; diese Stromstärke müßte an einem Widerstande von $2{,}90\ \Omega$ eine Spannung $I_0 \times w = 2140$ Volt ergeben, also eine gut meßbare Schlagweite von 0,34 mm. Der Versuch ergab nur 0,285 mm $= 1900$ Volt. Nun ist aber nach Formel (IV) I_0 nicht völlig unabhängig vom effektiven Widerstand der Strombahn; um diesen Einfluß zu demonstrieren, wurde außer dem Widerstand w noch ein veränderlicher Widerstand a in die Strombahn eingeschaltet. Der Widerstand a bestand ebenso wie der Widerstand w aus einer Legierung mit möglichst kleinem Temperaturkoeffizienten.

Die am Widerstand w auftretende Spannung wurde bei verschiedenen Werten von a gemessen; es ergaben sich bei $C = 0{,}454 \cdot 10^{-8}$ Farad, $N = 1{,}46 \cdot 10^6$; $V_0 = 17\,800$ Volt die folgenden Werte:

Tabelle I.

a	w	$I_0 w$	I_0
0,	2,90	1900	652
4.61	2,90	1700	585
10,0	2,90	1450	500
12,0	2,90	1400	482

Wie wir sehen, sinkt die Spannung $I_0 \cdot w$ mit wachsendem Widerstand a, und demgemäß

die zunächst unter der Voraussetzung des Ohmschen Gesetzes berechnete maximale Stromamplitude

$$I_0 = \frac{I_e w}{w}.$$

Nun waren aber a und w nicht die einzigen Widerstände im Schwingungskreis, er enthielt noch den Widerstand des Funkens, der Zuleitungen usw. Um den Gesamtwiderstand der Strombahn $\mathfrak{W}$ zu ermitteln, wurde die Dämpfung ϑ des Schwingungskreises bei verschiedenen Widerständen a nach der Bjerknes-Methode aufgenommen und der resultierende Gesamtwiderstand $\mathfrak{W}$ aus der Beziehung

$$\vartheta = \frac{C\mathfrak{W}}{\lambda} 6{,}6 \cdot 10^{-3}$$

berechnet.

Ich erhielt die Werte der Tabelle (II) bei der gleichen Kapazität, Frequenz und Einsatzspannung wie bei Tabelle 1.

Tabelle II.

a	w	ϑ	$\mathfrak{W}$	$I_0 \cdot w$	I_0
0	2,90	0,60	4,80	1850	639
2,30	2,90	0,93	7,10	1650	570
4,6	2,90	1,27	10,3	1550	535

Trägt man nun I_0 als Funktion von $\mathfrak{W}$ graphisch auf Fig. 2, so erhält man für $\mathfrak{W} = 0$ einen extrapolierten Wert für I_0; dieser Wert $I_0 = 725$ Amp. stimmt mit dem nach Formel (III) berechneten Wert 742 Amp. genügend gut überein.

Die Einschaltung von Widerstand ergibt dabei nach den Versuchen der Tabelle (II) einen größeren Einfluß wie nach Formel (IV) rechnerisch zu erwarten war.

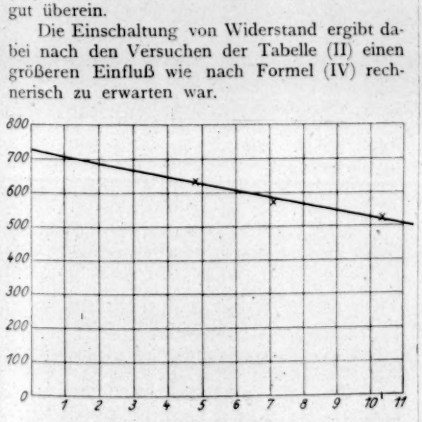


Fig. 2.

Bei $N = 1{,}46 \cdot 10^6$, $\mathfrak{L} = 2{,}57 \cdot 10^{-6}$ Henry, $\mathfrak{W} = 4{,}80$ Ω, $V_0 = 17800$ Volt, erhalten wir nach Formel (IV) $I_0 = 730$ Amp.; der experimentell sich ergebende stärkere Einfluß des Widerstandes (639 statt 730) kann vielleicht in der Funkencharakteristik seine Erklärung finden.

Jedenfalls legt uns die gute Übereinstimmung des durch Extrapolation für $\mathfrak{W} = 0$ gefundenen Wertes mit dem nach Formel III berechneten die Schlußfolgerung nahe, daß das Ohmsche Gesetz auch bei den hier erreichten hohen Stromdichten ca. $8 \cdot 10^4$ Amp./qmm innerhalb der Meßgenauigkeit erfüllt ist.

Die hier erreichten Stromdichten bedeuten eine erhebliche Steigerung gegenüber den Lecherschen Werten. Beim Silberdraht von Lecher ($\Phi = 0{,}03$ mm) wurde die Stromdichte j bei 10 Amp. $= 1{,}4 \cdot 10^4$ Amp./qmm; die Spannung pro cm betrug bei ihm ca. 2,3 Volt/cm, die im cm Draht umgesetzte Leitung = 23 Watt.

In unserm Fall wurde bei einem Konstantandraht von 0,1 mm Durchmesser $j = 8{,}1 \cdot 10^4$ Amp./qmm. Die Spannung pro cm

$$= \frac{1900}{4{,}7} = 400 \text{ Volt/cm}$$

und die Leistung in cm $= 639 \cdot 400 = 25{,}5 \cdot 10^4$ Watt.

Um die hier erreichten Werte noch weiter zu erhöhen, muß man $2\pi NCV_0$ vergrößern, das kann man natürlich auf verschiedene Weise bewerkstelligen. Zunächst wurde bei N und C = Konstanz die Einsatzspannung V_0 vergrößert bzw. variiert; ich erhielt dabei an einem Widerstand $w = 10$ Ω, bei einer Kapazität $C = 4{,}5 \cdot 10^{-9}$ Farad, die Werte der Tabelle III.

Es wurde ein Widerstand von 10 Ω gewählt um bei den kleineren Stromstärken nicht mit zu kleinen $I_0 w$-Spannungen am Widerstande arbeiten zu müssen, deren Ablesung am Funkenmikrometer zu unsicher ausgefallen wäre.

Tabelle III.

V_0	$I_0 w$	$\frac{V_0}{I_0 w}$	Bemerkung
4760	1400	3,40	
8300	2400	3,45	
11600	3250	3,57	
14700	4100	3,57	
17800	5000	3,56	
20800	5850	3,56	
23600	6750	3,50	
26400	7400	3,56	Rotglut des Drahtes[1]).
29000	8250	3,50	

1) Versuche mit Gleichstrom hatten ergeben, daß bei beginnender Rotglut der Draht eine Widerstandsvermehrung von 5—10 Proz. aufwies.

Wie man sieht, bleibt das Verhältnis $\frac{V_0}{I_0 w}$ leidlich gut konstant, und da V_0 proportional I_0 ist, muß auch w konstant bleiben, wir haben somit beim Konstantandraht trotz beginnender Rotglut angenäherte Konstanz des Widerstandes bis zu der gemessenen Stromstärke von 825 Amp.

Bei einer Länge des Drahtes von ca. 15 cm und einem Durchmesser von 0,1 mm bekommen wir eine maximale Spannung von 550 Volt/cm und eine Stromdichte von $10{,}5 \cdot 10^4$ Amp./qmm. Der experimentelle Befund spricht auch bei diesen Werten (wegen der beobachteten Konstanz von w) für die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes.

Einige orientierende Versuche, die ich mit Konstantandrähten verschiedener Dicke, und mit Kruppindraht von 0,05 mm Durchmesser anstellte, ergaben mit dem Ohmschen Gesetze durchaus verträgliche Resultate; dabei erreichte ich beim Kruppin eine Spannung bis 1500 Volt pro cm. Auch Quecksilber in dünnen Glaskapillaren (ca. 13 cm Länge und 8,4 Ω Widerstand) verhielt sich normal.

Die Versuche wurden im Göttinger Phys. Institut (Exp. Abteilung) ausgeführt.

(Eingegangen 9. Februar 1917.)

Beiträge zur Kenntnis der Tribolumineszenz.

Von A. Imhof.

Einführung.

Die Erscheinung der Tribolumineszenz ist immer noch ziemlich wenig bekannt geblieben, trotzdem in den letzten 17 Jahren viele dieses Gebiet behandelnde Veröffentlichungen erschienen sind. Ich erachte es deshalb für angebracht, mit wenigen Sätzen das bisher Erreichte darzustellen. Eine nur angenähert vollständige Behandlung würde mich an dieser Stelle zu weit führen; genauere Studien mögen durch die ziemlich zahlreichen Literaturanlagen erleichtert werden. Eine schon das Wesentlichste enthaltende Zusammenstellung wurde von M. Trautz[7]) im Jahre 1905 gegeben und in holländischer Sprache 1911 von Van Eck[21]). Recht interessant ist die aus beträchtlichem Beobachtungsmaterial (auch über andere Lumineszenzerscheinungen) resultierende Arbeit von P. Heinrich aus dem Jahre 1820, betitelt: „Die Phosphoreszenz der Körper nach allen Umständen untersucht und erläutert", und etwa gleich alt ist die preisgekrönte Schrift von Dessaignes. Ein guter Auszug dieser beiden Abhandlungen findet sich in Gmelins Handbuch der anorg. Chemie 1852. (V. Aufl. Bd. I.)

Einige Untersuchungen galten in der Hauptsache der Bestimmung von Stoffen, welche tribolumineszent sind, d. h. beim Zertrümmern momentan, selten kurze Zeit andauernd, lumineszieren. Darnach soll die Tribolumineszenzfähigkeit bei organischen, kristallisierten Stoffen stark verbreitet sein, bei den anorganischen nach Lindener sehr häufig unter den Mineralien, nach Gernez auch bei den anorganischen Kunstkristallen nicht selten. Die Erscheinung kann sehr gut an Zucker, den man im Dunkeln mit einem Hammer zertrümmert, besonders schön aber an Urannitrat oder an Bergkristallen beobachtet werden, wenn man nur die Vorsicht gebraucht, sich vorher schon einige Minuten im Dunkeln aufzuhalten. Sie kommt hauptsächlich kristallisierten Stoffen zu, wurde aber auch an amorphen, z. B. Glas, Porzellan, Opal beobachtet und auch bestritten, indem deren Leuchten nicht als Lumineszenz betrachtet wurde. Die meisten Untersuchungen hatten den Zweck, Gruppen von Substanzen mit besonderer physikalischer oder chemischer Eigenart aufzusuchen, um voraussagen zu können, ob Tl.[24]) auftritt oder nicht. Solche mehr oder weniger sicher geltende Regeln und Gesetze sind in ziemlich großer Zahl aufgefunden und zum Teil von dritter Seite bestätigt worden.

Nur einige der wichtigsten seien hier erwähnt: „Sämtliche tl.[24]) Mineralien sind elektrische Isolatoren." (Man kann ergänzend sagen: Sämtliche tl. Substanzen sind elektrische Isolatoren.)

„In Reihen isomorpher Mineralien wird bei allen Gliedern Tl. beobachtet oder bei allen nicht" (B. Lindener[15]).

„Die Tl. tritt vorzugsweise bei Kristallen auf, die keine Symmetriezentren haben." (B. Lindener[16]; Ostromisslensky[18]).

„Nur solche Kristalle zeigen Tl., deren Oberfläche polare Vektoren aufweisen" (W. Wernadski 1910[17]).

„Optische Antipoden zeigen entweder beide Tl., oder sie fehlt beiden" (Andreocci 1899).

„Aktive, optische Isomere, die Nichtantipoden sind, verhalten sich hinsichtlich ihrer Eigenschaft, Tl. zu zeigen oder nicht, ungleich" (Andreocci 1899).

„Wenn ein Glied einer Gruppe chemischer Verbindungen, die untereinander feste Lösungen geben, tl., so tun dies auch alle andern Glieder derselben Gruppe" (Ostromisslenski[18]).

„Permanente tl. Kristalle geben keine festen Lösungen mit nicht tl. Stoffen; oder wenn die eine Komponente einer festen Lösung mit derselben Kristallform tl., so tut dies auch die feste Lösung" (Ostromisslenski[18].)

Die Mehrzahl der weiteren Gesetze betreffen

einzelne organische Gruppen. Eine ausgedehnte Arbeit, die namentlich im Aufsuchen der nötigen Beispiele bestehen muß, wird noch zu leisten sein, um alle die genannten und andere Sätze zu sichern Tatsachen zu stempeln.

Im Jahre 1905 erhielt das Gebiet der Tl. durch Trautz[6,7]) und Schorigin[4,6]), Gernez[11,12,13]) und Guinchant[10]) insofern einen beträchtlichen Zuwachs an Erscheinungen, als der sichere Nachweis erbracht wurde, daß auch die Erscheinung der Kristallolumineszenz ein Spezialfall der Tl. ist. Das früher rätselhafte und schwer herbeizuführende Leuchten beim Kristallisieren gewisser Stoffe wird zurückgeführt auf ein Licht, das beim gegenseitigen Reiben und Bersten der eben neu gewachsenen Kristalle entsteht. Es genügen dabei noch sehr kleine Kräfte, während bei den ältern Kristallen gewöhnlich viel bedeutendere Materialverschiebungen verursacht werden müßten. Wir kommen damit auf die interessante, wohl zuerst von W. J. Pope an Saccharin und von M. Trautz später an vielen andern Substanzen beobachtete Erscheinung der temporären Tl. Es gibt nämlich viele Stoffe, die ohne sichtbare Veränderung ihre Fähigkeit zur Tl. nach einiger Zeit verlieren oder stark einbüßen. Eine Beobachtung von Gernez ist in dieser Beziehung jedenfalls sehr beachtenswert: „Läßt man die Schmelze eines sonst nur temporär tl. Stoffes sehr langsam abkühlen, so bleibt die Tl. erhalten, wenn auch nicht in gleicher Intensität."

Über den Einfluß des umgebenden Mediums, auf die Tl. kann noch nichts Sicheres gesagt werden. Einige Autoren, die sich damit befaßt haben, verneinen jeden Einfluß, während andere bei gewissen Substanzen eine deutliche Wirkung beobachtet haben wollen. Übereinstimmend sind die Angaben, daß es gleichgültig ist, in welchem Gas die Zertrümmerung erfolgt. Ich beabsichtige, diese Frage noch einer experimentellen Prüfung zu unterziehen.

Es liegen Beispiele vor, namentlich bei mikrokristallinen Schmelzen und Mineralien, wo kleine Verunreinigungen (in fester Lösung) von entscheidender Wirkung sind.

J. Burke hat zuerst das tl. Licht spektroskopisch untersucht. Er fand für Zucker ein kontinuierlich von der Linie F nach der violetten Seite hin sich ausdehnendes Spektrum. Gegenwärtig kennt man einige solche Spektren.

Die bisher aufgestellten Vermutungen über die Ursache der Tl. sind noch sehr wenig durch Tatsachen gestützt; es ist nicht unwahrscheinlich, daß die Ursache nicht in allen Fällen dieselbe sei (daher vielleicht auch die Widersprüche über den Einfluß des umgebenden Mediums). Ich kann hier nur auf die Literatur verweisen.

Der Hauptzweck vorliegender Arbeit soll darin bestehen, das noch sehr lückenhafte und teilweise unsichere Beobachtungsmaterial etwas zu ergänzen und wo sich Möglichkeiten zeigten, auch auszuwerten. Untersucht wurden hauptsächlich folgende Fragen: Der Einfluß der Kristallkorngröße, der Temperatur, des Kristallwassers, der chemischen Zusammengehörigkeit der Stoffe, des amorphen Zustandes; eine größere Zahl von anorganischen Substanzen wurde auf die Fähigkeit zur Tl. geprüft und ferner eine Zusammenstellung fast aller von andern und mir beobachteten Tl. Färben und Spektren gegeben.

Minimale Größe des lumineszierenden Körpers.

Daß nicht jede tl. Substanz in Pulverform noch tl., ist erkannt worden, aber nur Trautz[7,8]) hat in seinen Arbeiten angegeben, in welchem Größenzustande die geprüften Substanzkörnchen waren. Wir werden sehen, daß man schon bei der Beobachtung der Tl. irgendeiner Substanz, die in beliebig großen Kristallen vorliegt, sicher schließen kann, ob sie auch als Pulver noch lumineszieren oder nicht.

Für mehrere Stoffe habe ich versucht, die kleinste Größe der Kristallkörner festzustellen, die beim Zertrümmern ein eben noch genügend helles Licht emittieren, daß die Empfindlichkeitsschwelle des normalen, 15—20 Minuten in völliger Dunkelheit geruhten Auges überschritten wird. Es geschah dies ursprünglich mit der Absicht, ein genaueres Vergleichsmaß für die Lumineszenzstärke zu erhalten, als dies bei bloßer Abschätzung möglich ist. Denn ein stark lumineszierender Körper wird offenbar schon in kleinerer Menge sichtbar strahlen, als ein nur schwach lumineszierender. Freilich ist nicht jedes „normale" Auge gleich empfindlich, auch nicht ein und dasselbe Auge zu jeder Zeit. Noch mehr Fehlerquellen treten aber bei der Helligkeitsschätzung (Vergleichung mit Normalsubstanzen nach Tschugaeff[1]) auf, da die Dauer des absolut äußerst schwachen Lichtes sehr kurz ist (Größenordnung $^1/_{100}$ sec) und die Proben gleich dimensioniert und gleich vollständig zertrümmert werden müßten, wie die Normsubstanz; endlich auch die Farbverschiedenheiten die Schätzung erschweren.

Ich benenne fortan der Kürze wegen das kleinste, aproximativ als kugelförmig angenommene Stoffteilchen, dessen Tl. eben noch sichtbar ist, mit Minimalkorn (M. K.) Man wird dieses mit Hilfe von Sieben verschiedener Feinheit am einfachsten ermitteln, bei sehr großem M. K. ev. (genauer) durch Zerschneiden. Die empfindlichste Weise, ein Pulver auf seine Tl.

Fähigkeit zu prüfen, besteht nach meinen Erfahrungen darin, dieses in einer kleinen, weithalsigen Glasflasche mit einer abgestumpften Elfenbein- (oder Glas-)Spitze zu zerreiben.

Man könnte einwenden, daß es offenbar nicht gleichgültig sei, ob man ein einziges Korn zertrümmere oder deren viele zusammen. Durch eine sehr interessante Feststellung, die schon dadurch bemerkenswert erscheint, als sie keiner andern Lumineszenzart zukommt, wird aber die Widerlegung gegeben.

Eine größere Zahl von Versuchen hat nämlich gezeigt, daß das M. K. nicht nur den Schwellenwert der Lumineszenzhelligkeit bedingt, sondern sehr wahrscheinlich überhaupt das kleinste Stoffteilchen darstellt, das beim Zertrümmern noch Licht emittiert.

Dieser Satz ist indes noch mit einiger Vorsicht aufzunehmen, da alle diesbezüglichen Versuche zwar für die Richtigkeit sprechen, aber nicht einwandfrei beweiskräftig sind.

Zertrümmert man z. B. Kupfervitriolkristalle von ca. $^1/_2$—$^1/_2$ mm Durchmesser, so bemerkt man kein Licht, einerlei, ob man ein Teilchen oder deren fünfzig gleichzeitig zerschlägt. Führt man denselben Versuch aus mit Kristallen von 1,5—2 mm Durchmesser, so findet man bei sorgfältiger Prüfung, daß ein einziger tl. Ähnlich verhält es sich mit Kristallsoda, deren M. K. viel größer ist, ferner mit Flußspat u. a. Zerreibt man grobes Quarzpulver (von Bergkristallen), so bemerkt man Licht, nicht aber, wenn man sehr feines Pulver zerreibt. Schmilzt man Flußspatpulver mit dem für die Tl. indifferenten Kolophonium zusammen, so entsteht eine steinharte Masse, die nicht tl. Sie tut dies aber, sobald sie gröbere Körner enthält. Beim Ritzen mit einer Nadel tl. nur stark tl. Substanzen.

Bevor ich Messungen der M. K. ausführte, bestimmte ich durch sehr oft wiederholte Vergleichsschätzungen die Reihenfolge der Helligkeiten von mehreren verschiedenen Stoffen. Es ergab sich dann tatsächlich, daß die Helligkeiten in derselben Reihenfolge abnehmen, wie die M. K. an Größe zunehmen (mit Ausnahme der dunkel gefärbten Kristalle, die wegen der starken Lichtabsorption etwas zu schwach lumineszent erscheinen, z. B. $CuSO_4 \cdot 5H_2O$.) Die M. K. aller Substanzen müssen also bei ihrer Zertrümmerung ungefähr gleich hell leuchten.

In der folgenden Tabelle sind einige M. K.-Größen zusammengestellt; deren Reihenfolge ist zugleich die Helligkeitsfolge:

1.	Zinksulfid, (geglüht, *Mn*- u. *Mg*-haltig)	0,001—0,003 mm
2.	Willemit	0,002—0,007 „
3.	Urannitrat, Quarz	0,06 —0,13 „
4.	Zucker	0,14 —0,22 „
5.	Borax	0,25 —0,50 mm
6.	Kupfervitriol, Flußsp. (weiß)	0,70 —1,20 „
7.	Aluminiumammoniumsulf.	0,80 —1,50 „
8.	Kristallsoda	2,5 —3,0 „
9.	Zinkammoniumsulfat	3,5 —4,0 „

Unter den anorganischen Salzen ist es eine große Seltenheit, eine zu den Nummern 1—3 zu finden, die Nummern 4—6 sind noch nicht häufig (ziemlich häufig bei den organischen Stoffen), die meisten gehören zu Nr. 7—9.

Einfluß der Temperatur.

Eigentümlicherweise wurde bis dahin keine Untersuchung gemacht, welche den Temperatureinfluß studierte, obwohl dieser von besonderem Interesse sein dürfte. Nur einzelne diesbezügliche Bemerkungen findet man in ältern und neuern Arbeiten.

Heinrich erwähnt, daß die Lebhaftigkeit des durch den Stoß entwickelten Lichtes mit der Temperaturerhöhung zunehme; ferner daß Salmiak, Salpeter, Alaun und Kupfervitriol nur nach dem Trocknen, noch warm aneinander gerieben, tribolumineszieren. Dessaignes kommt zu ähnlichen Resultaten, nach ihm ist „die Stärke des Lichtes bei demselben Körper umso größer, je mehr er zuvor erwärmt wurde. Nur wenn der Körper bis zum Rotglühen erhitzt ist, zeigt er kein Leuchten mehr. Ein stark erkalteter Körper zeigt auf den Stoß gar kein oder nur schwaches Leuchten".

In neuerer Zeit findet man einzelne Angaben in den Arbeiten von M. Trautz[2]). Unter dem Abschnitt über Kristallolumineszenz wird erwähnt, daß die Helligkeit der Tl. bei tieferer Temperatur bei Bariumchlorat, Bariumbromat, Strontiumbromat, Kalziumbromat, Magnesiumbromat, Kaliumnatriumsulfat und Arsentrioxyd eher zuzunehmen schien, wenn man nur einzelne sichtbare Funken betrachtete.

Ferner: „Die erstarrte Masse von geschmolzenem Kaliumazetat war schwach tribolumineszent, verlor aber diese Eigenschaft unter ca. 70°. Wieder bis zum Schmelzen erhitzt, zeigte sie wieder etwas Tribolumineszenz, aber schwach. Natriumazetat und Lithiumazetat sind noch bei gewöhnlicher Temperatur tribolumineszent, stärker bei höherer Temperatur." Ebenda: „Bei Fällung oder Erstarrung von Schmelzen nimmt die Helligkeit (der Kristallolum.), sowie die Tl. mit der Temperatur zu, während bei Kristallisation aus Lösung die Tl. mit der Temperatur meist sehr rasch abnimmt." Noch weitere ähnliche Angaben erwähne ich nicht mehr, da sie auch die Kristallolumineszenz angehen. Diese ist zwar von Trautz und von Gernez als identisch mit der Tl. erkannt worden, aber man hat zu bedenken, daß sich mit der Temperatur

auch die Kristallisationsgeschwindigkeit und die Konzentration ändern. Van Eck[21]) beobachtete 1911 eine Erhöhung der Lichtstärke mit der Temperatur. Es war mir leider nicht möglich, diese Originalarbeit zu verschaffen.

Während also die älteren und neuesten Beobachtungen eine Zunahme der Lichtintensität mit steigender Temperatur feststellen — im Gegensatz zu meinen Ergebnissen — lassen die Angaben von M. Trautz das eine Mal an eine Zunahme, das andere Mal an eine Abnahme glauben. Diese Widersprüche erklären sich zum Teil durch die Schwierigkeit der Helligkeitsmessung, da die Lichter nicht nur äußerst schwach, sondern auch von sehr kurzer Dauer (Größenordnung gew. 0,01—0,1 sec) sind, ferner aus der gewichtigen Rolle, welche die Größe des benützten Kristalls spielt. Auch gleich große Kristalle ergeben nicht bei jedem Schlag gleich helles Licht, da die Zertrümmerung nicht immer gleich vollständig ist. Die erwähnten Beobachtungen waren übrigens stets nur nebenbei gewonnene Resultate.

Im folgenden seien meine Beobachtungen mitgeteilt:

a) Tribolumineszenz bei höheren Temperaturen.

Die erwähnten Fehlerquellen lassen sich nicht ausschließen. Um immerhin sichere Resultate zu erhalten, machte ich eine große Zahl von Beobachtungen für dieselbe Substanz.

Bei Zimmertemperatur lumineszient weißer, kristallisierter Quarz stark. Die Lumineszenz ist noch sichtbar bei schwacher Glut, sie übertrifft dann also diese an Helligkeit. Durch schnell aufeinander folgendes Zertrümmern von ungefähr gleich großen Stücken, kalt und auf 350° erhitzt, wurde eine schwache Abnahme der Lichtintensität wahrgenommen, mehr noch bei höherer Temperatur.

Flußspat zeigt bekanntlich sehr schöne Fluoreszenz und Thermolumineszenz. Verschiedentlich wurde die Thermolumineszenz als Ursache seiner Tl. angesehen. Durch die Temperaturuntersuchungen ergab sich nun einwandfrei, daß es sich um zwei durchaus unabhängige Erscheinungen handelt.

Erhitzt man Flußspat längere Zeit auf etwa 150°, so verliert er seine Thermolumineszenzfähigkeit, wie bekannt, fast gänzlich und erlangt diese Eigenschaft erst wieder durch neue Belichtung oder radioaktive Bestrahlung. Läßt man aber den lange erhitzten Kristall wieder erkalten, so zeigt er durchaus ungeschwächte Tl. Schon dadurch fällt also die erwähnte Hypothese dahin. Grünen Flußspat konnte man tl. sehen, während er noch schwach grün thermolumineszierte (bei ca. 60°). Weißer oder schwach grüner Flußspat von anderer Quelle, der erst grün, dann violett und schließlich wieder grün thermolumineszierte, tl. in jeder dieser 3 Stufen ungefähr gleich stark, auch nach dem Abklingen der Thermolumineszenz heiß und kalt. Die Lichtintensität nahm mit der Temperatur nicht zu, wurde aber auch kaum schwächer.

Zucker tl. heftig. Als Ergebnis von etwa 20 einzelnen Vergleichsbeobachtungen, bei welchen stets schnell aufeinander folgend je $^1/_4$ eines Würfelzuckers kalt und auf 100° bis 130° erhitzt, zertrümmert wurden, ergab sich eine deutliche Helligkeitsabnahme schon bei 100°, mehr noch kurz vor dem Schmelzpunkt. Meine sehr einfachen Vorrichtungen erlaubten mir leider nicht eine genügend genaue Temperatureinstellung, um in die äußerste Nähe des Schmelzpunktes zu gehen. Zucker, welcher unter gesättigter Lösung bei 10° zertrümmert wird, zeigt bedeutend heftigere Tl., als wenn man ihn in ebensolcher Lösung bei etwa 100° zertrümmert, auch dann, wenn in der kalten Lösung der Zusammenhang der einzelnen feinen Kriställchen schlechter geworden ist, als in der heißen.

Ganz einwandfrei möglich ist die Helligkeitsschätzung mit β-Naphtol. Diese weiche Substanz lumineszient bei ca. 15° stark mit grünem Licht, bei ca. 55° aber nur noch äußerst schwach, so schwach, daß man die Lichtfarbe nicht mehr angeben kann.

Viele Beobachtungen an Kupfersulfat ($5H_2O$) und Urannitrat führten zu denselben Ergebnissen; namentlich bei heißem Kupfervitriol wurde nie das geringste Licht beobachtet. Vorsichtshalber lege ich aber hierauf kein großes Gewicht, da diese Kristalle, wenigstens teilweise, schnell Wasser verlieren.

Die erwähnten Beobachtungen sind bloße Helligkeitsschätzungen, die freilich wegen der Häufigkeit der Beobachtungen ziemlich zutreffend sein dürften. Ihre Richtigkeit wird aber besonders durch einen Versuch bestätigt, den ich zuletzt mit manganhaltigem Zinksulfid ausgeführt habe und der nicht nur zeigte, daß die Lichtintensität mit wachsender Temperatur tatsächlich abnimmt, sondern geradezu die Aufnahme einer Kurve ermöglichte. Diese Substanz, die Herr Prof. Dr. K. Egli kurze Zeit vorher darstellte und mir in zuvorkommendster Weise überließ, tl. in frischem Zustande noch als feinstes Pulver so hell, daß man das orangefarbige Licht beim Zerreiben mit einer Messerklinge in der Nähe eines hell glühenden Auerstrumpfes sehen kann. Ein glattes (zwar nicht poliertes) Messingblech, auf dem das Pulver einmal verrieben wurde, wird durch gutes Abreiben mit

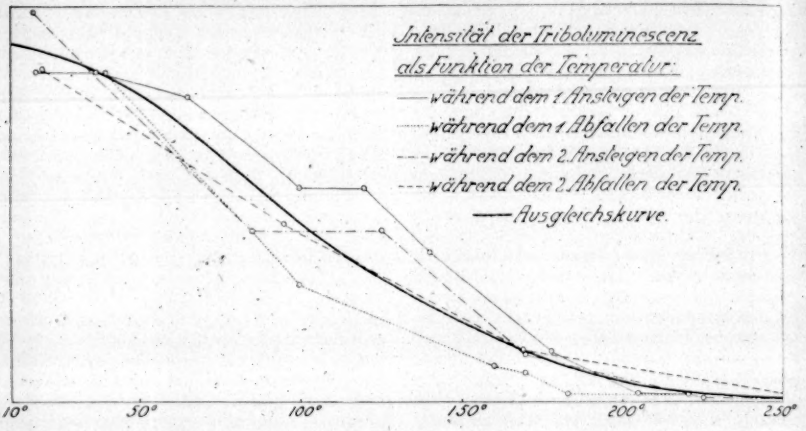


Fig. 1.

trockenen und feuchten Lappen nicht rein genug, um nicht im Dunkeln beim Reiben wieder zu leuchten. Dieses Pulver wurde auf einem Eisenblech gerieben und eine möglichst konstant gehaltene Petroleumlichtquelle (ähnliche Lichtfarbe) von ca. 10 H. K. Lichtstärke horizontal bei verschiedenen Blechtemperaturen soweit weggeschoben, bis die Lumineszenz des Pulvers nicht mehr wahrgenommen wurde. Folgende Tabellen zeigen die zu jeder gemessenen Temperatur mit Hilfe der Distanzen auf die (relativen) Flächenhellen der nächsten Umgebung umgerechneten Werte. Der Koeffizient der diffusen Reflexion brauchte nicht berücksichtigt zu werden, da es sich ja nicht um eine absolute Messung handelte. Vernachlässigt wurde die Veränderlichkeit des Einfallswinkels der Lichtstrahlen (von Petrollicht), was nur einen etwas steileren Abfall der in Fig. 1 gezeichneten Kurve zur Folge hätte; durch die geringe, aber doch vorhandene diffuse Reflexion von der Zimmerdecke her wird dieser Einfluß ungefähr kompensiert. Dasselbe Pulver fand bei ansteigender und abnehmender Temperatur Verwendung. Die Kurve fällt zwischen 60° und 170° steil ab und läuft dann asymptotisch der Temperaturachse entlang aus. Versuche bei 350° — 650° zeigten tatsächlich nur noch eine relativ sehr schwache Tl. Immerhin sei erwähnt, daß bei ca. 250° die Intensität noch etwa von derselben Größenordnung ist, die man bei andern Substanzen als „sehr helle Tl." bezeichnet. Der Anfang der Kurve ist so gewählt worden, daß er mit den Resultaten, die bei tiefern Temperaturen gewonnen wurden, in Einklang steht; die Kurve

Temperatur	Relative Lumin. Intens.	Temperatur	Relative Lumin. Intens.
18°	10,00	100°	3,35
37°	10,00	30°	10.00
66°	9,25	17°	11,81
110°	6,51	85°	5.21
120°	6,51	125°	5.21
140°	4,55	170°	1.43
178°	1,52	225°	0,10
205°	0,26	265°	0.07
220°	0,25	169°	1.57
183°	0,27	95°	5.40
170°	0,88	20°	10,08
160°	1.08		

strebt einem bei ca. — 50° liegenden Maximum zu.

Wohl sind die gegenseitigen Abweichungen der Meßreihen groß (sie könnten bei weitern Aufnahmen noch größer werden), aber der ganz allgemeine Charakter der Ausgleichskurve, um den es sich ja nur handeln kann, wird dadurch nicht stark geändert.

Die entsprechende Kurve ist nun sicher nicht bei allen Substanzen von ähnlicher Form, sie fällt gewöhnlich sehr langsam ab, um dann kurz vor dem Schmelzpunkt rasch gegen diesen zu auf Null zu sinken. Dieser letzte Abfall kann freilich, wenn auch unkontrollierbar, bei ZnS noch stattfinden.

Die für das Zinksulfid in Anwendung gebrachte, eigentlich sehr primitive Methode zur Messung äußerst kleiner Lichtstärken kann natürlich sehr vervollkommnet werden. Ich will denn auch später versuchen, damit absolute Messungen durchzuführen.

b) Tribolumineszenz bei tiefern Temperaturen.

Mit Kältemischungen wurden die Kristalle, die in Stanniol eingewickelt oder in kleinen Blechgefäßen waren, erst auf -18^0 bis -20^0, dann auf -30^0 abgekühlt. Die sämtlichen untersuchten Substanzen lumineszierten soviel stärker, als bei Zimmertemperatur, daß die wenigen Beobachtungen sichere Angaben ermöglichen. Ließ ich Zucker bei 15^0 in dem nicht ganz vollständig verdunkelten Raum aus ca. 50 cm Höhe fallen, so beobachtete ich nie Licht, bei -20^0 aber schon beim Fallenlassen aus 13—15 cm Höhe. Dasselbe gilt von Kupfervitriol, der sonst beim Fallen aus 1 m Höhe nicht tl. Bei -30^0 verhält sich auch Quarz so. Die sonst schwach tl. Kristallsole tl. bei -30^0 stark.

Folgende Substanzen wurden mit Kohlensäureschnee und Äther auf -80^0 abgekühlt, indem sie, an einen Faden gebunden, direkt in die Kältemischung eingetaucht wurden. Die Zertrümmerung erfolgte mit einem zwangsläufig geführten starken Eisenstab. Dieser und die eiserne Unterlage wurden stets auch gekühlt.

Die Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Substanz	Helligkeit bei -80^0	Lichtfarbe bei -15^0	Lichtfarbe bei -80^0
Bergkristall	++(15)	gelb	blau
	+(−30)		
Flußspat (weiß) . . .	= (15)		
Zucker	+ (15)	blau-	blau-
„ (Kandis)	= (−20)	weiß	weiß
Kupfersulfat	+ (15)		
	= (−20)		
Urannitrat	= (15)	gelbgrün	grün
Natriumkarbonat . .	+ (15)	weiß	weiß
10 H_2O	= (−30)		
Nickelammoniumsulfat	— (15)		
Natriumsulfantimoniat	0		
Zinksulfid, *Mn* u. *Mg*-haltig, geglüht . .	= (15)	orange	orange

Zeichenerklärung:
++( ) = viel heller, als bei der in der Klammer angegebenen Temp.,
+( ) = heller als „
= ( ) = gleich hell wie „
− ( ) = weniger hell als „
0 = keine Lum. mehr.

Ich bin überzeugt, daß mehrere Substanzen, namentlich Quarz, Flußspat, Urannitrat, Zucker usw. noch bei viel tieferer Temperatur tl. würden. Leider mußte ich diese Versuche einstweilen aufschieben.

Was die Tl.-Intensität anbetrifft, kann man also folgendes sagen: Das Temperaturintervall, innerhalb welchem die Substanzen tl. sind, ist je nach der Substanz ein anderes; wenn der Schmelzpunkt nicht unter Glühtemperatur liegt, so sind sie bei schwacher Glühtemperatur noch nachweisbar tl. Viele Substanzen tl. noch bei -80^0 und sehr wahrscheinlich bei noch bedeutend tieferer Temperatur, einige aber schon bei -80^0 nicht mehr.

Mit wachsender Temperatur nimmt die Tl.-Helligkeit bei den meisten Substanzen etwas ab, mit sinkender Temperatur zu, um dann in einem größern oder kleinern Intervall ungefähr konstant zu bleiben und endlich bei den einen (bei zwei Substanzen nachgewiesen) bald auf Null zu sinken, bei den andern wahrscheinlich bei sehr tiefer Temperatur auch.

Jede Substanz tl. mit einer ganz bestimmten Farbe. Für einige Substanzen wurden von unabhängigen Beobachtern bis auf geringe Verschiedenheiten dieselben Farben wahrgenommen. Wenn sich die Angaben von A. Karl[20]), daß nicht die reinen Substanzen, sondern nur feste Lösungen mit einer sehr verdünnten Komponente tl., in Zukunft bestätigen, so dürften bei ein und derselben (nicht absolut reinen) Substanz auch verschiedene Lichtfarben beobachtet werden. Nach Karl variiert nämlich die Farbe mit der Natur des Lösungsmittels und des gelösten Stoffes.

Interessant ist das Ergebnis, daß sich diese Farbe mit der Temperatur etwas verändert, und zwar habe ich beim Erhitzen und beim Abkühlen Verschiebungen nach der kurzwelligen, als auch nach der langwelligen Seite hin beobachtet. Besonders deutlich kann man die Farbänderung bei Quarz wahrnehmen, der bei -20^0 gelb, bei -80^0 blau lumineszient; Urannitrat leuchtet bei -80^0 in sattem Olivgrün, bei -20^0 gelbgrün; Zinksulfid tl. zwischen -80^0 und etwa -200^0 orangefarbig, bei $-300-400^0$ blaugrün. (Nach Becquerel beobachtet man auch bei der Phosphoreszenz solche Farbänderungen.)

In den großen Verschiedenheiten der Funktion, welche zwischen Temperatur und Intensität der Lumineszenz besteht, könnte man vielleicht auch ein Zeichen dafür erblicken, daß es mehr als eine Ursache der Tl. gebe. Es ist noch eine weitere Versuchsserie nötig, um sicher festzustellen, ob es nicht vielleicht auch einige Substanzen gibt, bei denen die Tl. mit wachsender Temperatur zunimmt.

Die tribolumineszierenden Substanzen.

Möglicherweise tl. alle Substanzen, welche zur Kristallisation fähig sind, wenn sie eine gewisse Komponente in fester Lösung besitzen; wir wissen das nicht. In diesem Falle würde sich die Aufzählung der tatsächlich als tl. befundenen nur insofern berechtigen, als diese auf Grund ihrer Fabrikation oder ihres Ursprunges immer die Komponente enthalten würden,

welche zum Lumineszenzvermögen nötig ist. Es ist aber ebensowohl möglich und wahrscheinlich, daß es Substanzen gibt, die nicht tl., welche andere Substanz sie auch in fester Lösung enthalten und auch solche, welche in reinem Zustande tl. Dann hätte die Aufzählung ihren Zweck und wäre einfach noch insofern unvollständig, als sie eben nur die Lösungsmittel enthielte.

Die bisher und im folgenden als tl. bezeichneten Stoffe haben die Eigenschaft, sichtbares Licht zu emittieren und es mußte einstweilen angenommen werden, daß diese Eigenschaft den genannten Substanzen selbst zukomme, da man über die oben angedeuteten Komplikationen noch viel zu wenig unterrichtet ist.

Unter den anorganischen Stoffen wurden nach Trautz[7]) bis 1905 285 auf Tl. geprüft, unter den organischen 542. Sie umfassen fast sämtliche frühern Beobachtungen (erste Beobachtung 1660, dann Boyle 1663, Vedgevoud, Dessaignes, P. Heinrich 1820, Tschugaeff 1901). Von den anorganischen zeigten 33 = 11,5 Proz. Tl., unter diesen 15 = 4,2 Proz. temporäre Tl.

Von Gernez[11]) wurden fast gleichzeitig 74 weitere, zu einem großen Teil neue tl. anorganische Salze aufgezählt, wodurch die Prozentzahl vergrößert würde. Er gibt leider nicht an, wieviele Verbindungen er überhaupt geprüft hat.

B. Lindener[15]) (1910) hat unter 110 Mineralien sehr viele tl. gefunden. Eine bestimmte Zahl läßt sich hierbei nicht angeben, weil nicht selten ein und dasselbe Mineral je nach seiner Vorgeschichte usw. lumineszieren kann oder nicht. Betr. der Tl. der Mineralien verweise ich auch auf die interessante Arbeit von A. Karl[20]).

Unter den organischen Substanzen kennt man gegenwärtig nicht weniger als ca. 590, welche tl. (bis 1905 nach Trautz 40 Proz. der untersuchten Fälle; Arbeiten von Tschugaeff, Trautz, Gernez, Van Eck).

In folgender Tabelle sind meine eigenen Beobachtungen zusammengestellt. Die schon früher bekannten sind mit * bezeichnet. (Wiederholungen sind verursacht durch frühere Unkenntnis einiger Arbeiten; sie würden immerhin erwähnt, da eine Bestätigung nur nützlich sein kann.) Die tl. Substanzen sind gesperrt gedruckt. Ohne die Resultate von Gernez bezweifeln zu wollen, sei doch erwähnt, daß es nicht gerade einwandfrei ist, die Zertrümmerung in einem Glasmörser vorzunehmen, da Glas selbst bei der kleinsten Verletzung tl. Ich habe einen Glaspistill zu je einem Vorversuch verwendet; das Ergebnis aber stets mit einem zwangläufig geführten Eisenhammer nachgeprüft. Vorprüfungen mit Glaspistillen geben wenigstens schon die negativen Resultate an (ein Hammer verdeckt oft das Licht), so daß man sich Material ersparen kann.

Bedeutung der Abkürzungen:

st. = stark;	z. = ziemlich,
mst. = mittelstark,	s. = sehr,
schw. = schwach,	Kr. = Kristalle.

Anorganische Salze.

Aluminiumammoniumsulfat, große Kr., z. st. blau,
Aluminiumkaliumsulfat (gew. Alaun), 2 bis 6 mm Kr., z. st. blau,
*Aluminiumnitrat, 4—9 mm Kr., z. st. blauviolett,
Ammoniumkarbonat, 2—4 cm Kr., schw.,
Ammoniumchlorid, 1,5 4 cm Kr.,
Ammoniummolybdat, 5—8 mm Kr., mst.,
Ammoniumnitrat, geschmolzen zu Stangen (rhombisch),
Ammoniumnitrat, geschmolzen, auf 100° erhitzt (rhomboedr.),
Ammoniumsulfat, geschmolzen, 1 cm Stücke,
Bleinitrat, 1—6 mm Kr., schw.,
Borfluorkalium, zusammengeb. Pulver,
Borsäure, Blättchen und geschmolzen,
Calciumbromid, weiße, sehr poröse Stücke,
Calciumchlorid, geschmolzen zu 7 mm Stangen, wasserfrei, mst.,
Calciumchlorid, $6H_2O$, 5—12 mm Kr.,
„ „ $6H_2O$, geschmolzen,
Calciumchloridammoniak, 3—7 mm Stücke,
Calciumnitrat, $^1/_2$—$2^1/_2$ mm Kr., z. schw. blaugrün,
*Cadmiumsulfat, $^3/_8H_2O$, 5 mm Kr. mst. gelb mit etwas violett,
Ceriumnitrat, 2—5 mm Kr.,
Chromalaun (Ammoniak), 1—4 mm Kr.,
Chromalaun (Kali), 1—3 cm Kr.,
Chromnitrat, 3—5 mm Kr.,
Chromsulfat, feinkrist.,
Eisenammoniumchlorid, $^1/_4$—$3^1/_2$ mm Kr.,
Eisenammoniumsulfat (Alaun), 1—3 cm Kr., z. st.,
Eisensulfat, 3—15 mm Kr.,
Kaliumbichromat, 3—15 mm Kr.,
Kaliumchromat, 2—4 mm Kr., schw.,
Kaliumkarbonat (Potasche) i. Kr. Wasser geschm. u. m. H_2SO_4 getrocknet,
Kaliumchlorat, geschm. in 5 mm Stangen,
Kaliumpermanganat, 1—3 mm kr.,
Kobaltkaliumsulfat, 2—4 mm Kr., s. schw.,
Kupferammoniumsulfat, 3—8 mm Kr. s. schw.,
Kupferkaliumsulfat, $6H_2O$, 3—6 mm Kr., schw.,
Kupferkaliumchlorid, 1—6 mm Kr.,

*Kupfersulfat, $5\,H_2O$ $^1/_2$—2 cm Kr., mst.,
Lithiumchlorid, 2—5 mm Stücke aus sehr feinen Kriställchen,
Lithiumnitrat, 5 mm dicke Tafeln,
Magnesiumammoniumarseniat, Pulver,
*Magnesiumammoniumsulfat, $6\,H_2O$ 2 bis 4 mm Kr., z. st.,
Magnesiumammoniumsulfat, krist. anderer Herkunft, s. schw.,
Magnesiumnatriumsulfat, 3—15 mm Kr., mst. grün,
Magnesiumchlorid, feinkrist. (naß),
Magnesiumnitrat, $^1/_2$—2 mm Kr.,
Manganammoniumsulfat, 2—8 mm Kr., s. schw.,
Mangankaliumsulfat, 1—4 mm Kr., z. st. gelb,
Mangandioxyd, 5—6 mm Stücke,
Mangansulfit, (Oxydul) 3—9 mm Kr., z. st. grünlich,
*Natriumammoniumphosphat, gr. Kr. z. st.,
Natriumammoniumsulfat, 1—2 mm Kr., z. schw.,
Natriumarseniat, 2—6 mm Kr., feucht, z. st. blauviolett,
Natriumbisulfat, 5—15 mm Kr., z. st.,
Natriumbisulfat, geschmolzen, wasserfrei, 4 mm Tafeln, s. schw.
Natriumchlorat, $^1/_2$—3 mm Kr., s. schw.,
*Natriumchlorid, natürl. Steinsalz, gr. Kr., schw.,
Natriumchlorid, Kochsalz, 1—$1^1/_2$ mm Kr.,
*Natriumchlorid, geschmolzen zu Tafeln, s. st. blauweiß,
Natriumkarbonat, $10\,H_2O$, gr. Kr. schw. weiß,
Natriumkarbonat, $1\,H_2O$, Kristallklumpen,
Natriumkarbonat, $o\,H_2O$, geschmolzen zu Tafeln,
Natriumphosphat, 2-basisch, 4—8 mm Kr., z. st.,
Natriumsulfat, wasserfrei, geschmolzen zu Tafeln,
Natriumsulfat, feinkrist.,
Natriumsulfantimoniat, $(9\,H_2O)$ 3—15 mm Kr., schw.,
Natriumnitrat, $^1/_2$ mm Kr.,
*Natriumtetraborat, $10\,H_2O$, gr. Kr., st.,
Natriumtetraborat, $5\,H_2O$, feinkrist.,
Natriumtetraborat, $o\,H_2O$, geschmolzen 5 mm Scherben,
Natriumthiosulfat, 3—4 mm Kr.,
*Nickelammoniumsulfat, 4—12 mm Kr., mst.,
Nickelammoniumsulfat, 4—15 mm Kr., von anderer Quelle, alt, nicht tl.,
Phosphorwolframsäure, feinkrist.,
Quecksilberammoniumchlorid, harte 3—5 mm Stücke,
Quarz, geschmolzen, zu Röhrchen, st.,
Schwefel, rhomb., 5—15 mm Kr.,
Schwefeleisen FeS, gegossen in Platten,
Strontiumchlorid, feinkrist.,
*Uranylnitrat, 2—4 mm Kr., st. hellgrün,
*Uranylkaliumsulfat, 3 mm Stücke und Pulver, s. st. tl. grünblau,
Wolframsaures Calcium, Pulver (für Schirme), schw. blaugrün,
Zinkammoniumsulfat, 2—5 mm Kr., z. st.,
Zinkkarbonat, 1—3 mm Kr., z. schw.,
Zinkkaliumchlorid, $^1/_2$ mm Kr. u. geschmolzen,
*Zinkkaliumsulfat, 3—10 mm Kr., st. bläulich,
*Zinksulfid, mangan- und mangnesiumhaltig, geglüht, Pulver, s. st. orange,
Zinnsulfid, SnS_2 geglüht (Musivgold), grobes Pulver.

Mineralien.

Apophyllit, schw.,
Asbest (grün),
Epidot, edler, dunkelgrün,
Epidot, grün, z. schw. rotviolett,
Granat (Pyrop.),
Marienglas (Kaliglimmer),
Serpentin $H_4Mg_3Si_2O_9$,
Turmalin, grün,
Talk (weiß) $H_2Mg_3Si_4O_{12}$,
Vesuvian
*Willemit (grüne Kr.) Zn_2SiO_4 s. st.,
*Bergkristall, s. st. gelb,
*Chalcedon, s. st. gelb,
Halbopal,
Rutil TiO_2 große Kristalle,
Anatas, TiO_2, 1—3 mm Kr.,
Faseriger Brauneisenstein $2\,Fe_2O_3\,3\,H_2O$,
*Kalkspat, s. schw.,
Kalksinter, z. schw.,
Aragonit, z. schw.,
Strontianit,
Eisenspat, $FeCO_3$,
*Kryolith, $3\,NaFAlF_3$ z. schw.,
*Flußspat, grün, st.,
*Flußspat, weiß und grünlich, m. st.,
*Steinsalz, schw.,
Alaun,
*Fasergips, schw.,
*Anhydrit,
Wavellit, $3\,Al_2O_3\,2\,P_2O_5 + 12\,H_2O$, grün, strahlig, s. schw.,
Apatit, $3\,Ca_3P_2O_8 + Ca\,(Cl,F)_2$ s. st. ca. $^1/_{10}$ sec nachleuchtend,
Pyrit, FeS_2.

Amorphe Substanzen.

*Glas, einige verschiedene Sorten, mst. auch in verd. Säure, blau und violett.
Kupolofenschlacke, dunkelgrün bis schwarz (aus Gießerei für Grauguß), rote u. violette Funken, an einzelnen Punkten konzentriert.

Abspringen rot leuchtender (glühender?) Teilchen; wahrscheinlich Wärmefunken,
*Chalcedon, s. st.,
Quarz, geschmolzen, s. st.,
Halbopal,
*Porzellan,
Weißer Ton, gebrannt,
Serpentin,
Borax, geschmolzen zu 5-mm-Platten, wasserfrei,
Borsäure, geschmolzen zu 4-mm-Scherben,
Arsenige Säure, glasig in $^1/_2$ bis 1 cm Stücken,
Retortenkohle, Kolophonium (bei 6°), Leim.
Steinkohlenkoks,
Zucker, geschmolzen.

Die Tabellen gestatten nun, einige Konsequenzen zu ziehen:

Die Zahl der anorganischen von mir geprüften Salze beträgt 75 (ohne Mineralien), bzw. 87, wenn solche mit verschiedenem Kristallwassergehalt als verschiedene Salze betrachtet werden. Davon tl. deren 38, bzw. 41, das sind 51 Proz., bzw. 47 Proz. Läßt man die Doppelsalze beiseite, so tl. ca. 25 Proz. der einfachen Salze.

Von den 22 geprüften Doppelsalzen tl. deren 16; dabei fällt folgendes auf: Fast alle anorganischen Doppelsalze, welche Sulfate sind von Kalium oder Ammonium (wahrscheinlich auch der andern Alkalimetalle) und eines andern Metalls tribolumineszieren, und alle, welche Chloride der genannten Metalle sind, tl. nicht.

Außer den in der Tabelle enthaltenen Sulfaten führe ich noch einige Beispiele an, die Gernez gefunden hat: Sulfat von *Li* und *K*; *Mg* und *K*; *Ni* und *K*; Uranyl und *K*; *Zn* und *Tl*.

Die wenigen Ausnahmen waren entweder gepulvert oder fein kristallisiert, oder es sind Chromalaune. Chrom scheint aber, wie kaum ein anderes Element, der Tl. ungünstig zu sein. Unter den genannten Sulfaten sind nicht etwa nur die Alaune, bei denen eine Übereinstimmung im Verhalten viel eher erwartet würde, sondern auch andere Sulfate von der angegebenen Zusammensetzung. Nun ist Kaliumsulfat für sich allein stark tl., nicht aber die Sulfate von Ammonium und Natrium; ferner ist Kaliumchlorid für sich tl. Diese Regelmäßigkeiten im Lumineszenzvermögen der Doppelsalze erklären sich also nicht, wie man wohl erwartet hätte, dadurch, daß das eine Glied tl. würde; es ist dies ein ziemlich merkwürdiges Resultat.

Wenn man nach solchen Gesetzmäßigkeiten sucht — für die organischen Substanzen sind schon einige bekannt —, so ist die Zahl der untersuchten Fälle immer noch zu klein. Bei vielen Salzen ist auch die Tl. nur nicht wahrgenommen worden, so daß eine Reihe von Beobachtungen wiederholt werden müssen. Das größte Hindernis liegt aber darin, daß nur sehr stark tl. Substanzen auch fein kristalliert oder gar pulverförmig noch tl. und doch kristallisieren viele Salze nie in großen Kristallen. In einigen solchen Fällen habe ich die erstarrten Schmelzen (H_2O-haltige im Kristallwasser geschmolzen) geprüft, aber es gibt gerade unter den schwer auskristallisierenden Salzen nicht wenige, deren Schmelzen bald unter dem geringsten Schlag wieder in feine Kriställchen zerfallen oder sie verlieren H_2O und man erreicht nichts damit. Noch andere Salze verraten ihr Geheimnis nicht, weil sie sehr stark hygroskopisch sind oder in einem Bimstein ähnlichen, porösen Zustand (z. B. $CaBr_2$). Weitere Täuschungen können etwa durch die nicht seltene temporäre Tl. verursacht werden.

Ich habe diese Bemerkungen eingeschaltet, weil man sonst an der Richtigkeit mancher vielleicht begründeter Gesetzmäßigkeit — wegen der Häufigkeit der Lücken — zweifeln müßte. Wirkliche Ausnahmen gibt es aber, sicher wenigstens in den noch folgenden Gruppen, auch ohne daß man Gründe angeben könnte.

Eine große Zahl aller Mineralien kann man z. B. nicht durch ihre Eigenschaft der Tl. kennzeichnen, da unter ihnen die größte Unbestimmtheit beobachtet wird. Während ich z. B. Willemit als die am zweitstärksten tl. Substanz befunden habe (auch andere beobachteten Tl.), bemerkte B. Lindener gar nichts; ähnliche, weniger krasse Fälle gibt es mehr (Kalkspat, Gips, Asbest usw.). Anderseits gibt es Mineralien, wie z. B. Bergkristall, Flußspat u. a., von denen mit großer Sicherheit jeder Kristall leuchtet (CaF_2 je nach Farbe verschieden stark, aber, wie ich durch Vergleichung meiner Beobachtungen mit denen von Lindener u. a. fand, besteht zwischen den Exemplaren gleicher Farbe Übereinstimmung).

Außer der oben genannten Gesetzmäßigkeit konnte ich eine weitere feststellen, die viel eher erwartet werden mußte. Man kann im allgemeinen sagen, daß wenn anorganische Salze chemisch nahe verwandt sind, sie sich hinsichtlich der Tl. gleich verhalten[25]). Die beweisendsten Gruppen sind in Tabellenform zusammengestellt. Ich habe diese Form der Darstellung gewählt, weil sie sehr übersichtlich ist und sofort zeigt, wo noch Lücken vorhanden sind. Zum Teil wird es gelingen, diese auszufüllen.

Die Gruppen mit den meisten bis jetzt bekannten Vertretern sind die der Allkalimetall-

	K	Na	Li	NH_4	Ba	Sr	Ca	Mg
F	○	●	?	●	?	?	●	?
Cl	●	●	○	●	●	●	●	○
Br	●	●	?	?	●	○	○	?
J	●	●	?	?	○	⊖	○	?
ClO_3	○	●	?	?	●	●	○	○
BrO_3	●	●	?	?	●	●	●	●
JO_3	●	○	?	?	○	○	○	?
CO_3	○	●	○	●	○	○	●	○
HCO_3	●	●	?	?	?	?	?	?
NO_3	●	○	○	○	●	●	●	○
MoO_4	●	●	?	●	?	?	●	●

Zeichenerklärung:

● tribolumineszent.
○ nicht tribolumineszent, Tl. jedoch nicht ausgeschlossen, weil noch keine großen Kristalle untersucht.
⊖ oder ⊖ wasserfrei.
? noch nicht auf Tl. geprüft.

Fig. 2.

Halogenide, der Erdalkalimetall-Halogenate und Nitrate.

Die Sulfate, welche bei den Doppelsalzen wegen ihres gleichmäßigen Verhaltens auffielen, zeigen hier keine Regelmäßigkeit. Sie gehören zu der großen Zahl der Verbindungen, bei denen man aus ihrer Verwandtschaft nicht auf die Tl. schließen kann. Gruppen, in welchen gar kein Salz tl., sind seltener. Hierher gehören z. B. die Bichromate von K, Na, Li, NH_4; die Chlorüre von Fe, Co, Ni .....

Es scheint ziemlich sicher zu sein, daß die Elemente nicht die Fähigkeit der Tl. besitzen, sei es, weil nur Verbindungen diese Eigenschaft haben können oder weil die Großzahl der Elemente fester Formart elektrisch leitend sind. Brugnatelli will zwar bei Schwefel Licht bemerkt haben. Andere und ich selbst konnten nichts bemerken. Auch der Diamant soll tl. (Heinrich, Dessaignes). Hierbei kann es sich aber nicht um die eigentliche Tl. handeln, sondern nur um bloße Funkenentladungen, denn nur vereinzelte Exemplare mit feinen inneren Rissen geben nach längerem Reiben Funken. M. Trautz erwähnt, daß das metallische Bor etwas tl., bemerkt aber dazu mit Begründung, daß es höchstwahrscheinlich Wärmefunken seien.

In ganz besonders schöner Weise wurde die scheinbar sehr kräftige, am Tage sichtbare Tribolumineszenz des metallischen Urans von Herrn Prof. Dr. K. Egli als Verbrennung entpuppt. Schüttelt man nämlich nach seinem Vorgehen etwa bohnengroße Uranstücke während einiger Minuten in einer kleinen Glasflasche (weithalsig), so folgt eine Staubexplosion mit heftiger Feuererscheinung, welche den lose aufgesetzten Pfropfen abhebt. Das Experiment ist gut reproduzierbar. Nach der Explosion sieht man kein Leuchten mehr, wenn man nicht wieder Luft zutreten läßt.

Man kann sich fragen, wie sich ein verschiedener Kristallwassergehalt in bezug auf die Tl. bemerkbar machen werde (bei den Salzen, die mit verschiedener Molekelzahl H_2O kristallisieren, oder welche zu wasserfreien Platten gegossen werden können). Die in der Tabelle enthaltenen Resultate ergeben, wie zu erwarten, folgendes: Salze von im übrigen gleicher chemischer Zusammensetzung, aber verschiedenem Kristallwassergehalt sind hinsichtlich der Tl. als durchaus verschiedene Substanzen aufzufassen. In den meisten Fällen ist das höchste Hydrat tl., so z. B. Kristallsoda mit $10\,H_2O$ (nicht mit $1\,H_2O$ oder geschm. mit $0\,H_2O$), Natriumtetraborat mit $10\,H_2O$ (nicht mit $5\,H_2O$ oder geschm. mit $0\,H_2O$); Natriumphosphat Na_2HPO_4 zweibasisch mit $12\,H_2O$ (nicht mit $7\,H_2O$); Fasergips (nicht der Anhydrit). Es gibt andere, etwas weniger häufige Beispiele, wo das Salz mit verschiedenem H_2O Gehalt tl., so das Natriumbisulfat, das mit $1\,H_2O$ ziemlich stark tl., geschmolzen, wasserfrei, immer noch schwach, ferner (nach Trautz) auch ganz gleich die Acetate von K und Na, (nach Van Eck), die wasserhaltige und wasserfreie Phthalsäure. Endlich kommt noch der umgekehrte Fall vor, wo der wasserhaltige Kristall nicht leuchtet, wohl aber das wasserfreie Salz. Ein Beispiel hierfür ist das Kalziumchlorid, welches, wie ich mich mehrmals überzeugte, mit $6\,H_2O$ nicht tl., dagegen ganz deutlich in wasserfreien, geschmolzenen Stangen.

Das sog. Dekrepitationswasser gehört zwar nicht hierher. Wegen einer auffallend starken Wirkung, die ihm vielleicht beim Natriumchlorid zuzuschreiben ist, sei darauf Bezug genommen. Gewöhnliches Steinsalz tl. nämlich nicht hell, während nach übereinstimmenden Beobachtungen von M. Trautz[7]) und mir das geschmolzene Salz sehr heftig tl., auch als Pulver; die Erscheinung ist noch glänzender als bei Bergkristall.

Man findet unter allen Kristallsystemen viele

tl. Substanzen (wenige im quadratischen und asymmetrischen System, jedoch nicht relativ, da in diesen Systemen bekanntlich nicht sehr viele Salze kristallisieren). Interessant wäre zu wissen, wie sich die Polymorphie in der Tl. äußert. In Anlehnung an andere Eigenschaften polymorpher Salze müßte man annehmen, daß sich solche auch hier wie verschiedene Substanzen verhielten. Ich beschränke mich an dieser Stelle darauf, eine kleine Beobachtungstabelle zusammenzustellen, da ich noch nicht über genügende Beispiele verfüge, um ein sicheres Resultat angeben zu können (man beachte immerhin die Übereinstimmung). Die Mineralien sind eben, wie schon erwähnt, unzuverlässig.

Formel	tribolumineszent	nichttribolum.	Krist. Syst.
$Si\,O_2$	Bergkristall		hexagonal
$Si\,O_2$	Tridymit		rhombisch
$Ca\,CO_3$	Kalkspat		hexagonal-rhomboedr.
$Ca\,CO_3$	Aragonit		rhombisch
$Ti\,O_2$		Rutil	quadratisch (Prismen)
$Ti\,O_2$		Anatas	quadratisch (Pyramiden)
$NH_4\,NO_3$		Ammonium-nitrat	10° rhombisch 100° rhomboedr.
$NH_4\,NO_3$			

Gegen die wahrscheinlich nicht durchwegs richtige Behauptung von Van Eck 1911, daß amorphe Substanzen nicht tl., stelle ich folgende Tabelle auf.

Substanz	Lichtfarbe	Helligkeit
Quarz, geschmolzen	gelb	s. st.
Chalcedon	gelb	s. st.
Onyx	rot	st.
Opal	rot	st.
Serpentin (?)		
Glas	violett u. blau	m. st.
Schlacke (v. Grauguß) (wahrsch. Temp.-Strahlg.)	rot u. violett	m. st.
Porzellan (wahrsch. Temp.-Strahlg.)	rot u. blau	

Betr. die Tl. des Glases wurde schon die Vermutung ausgesprochen, daß es sich vielleicht bloß um glühende Teilchen oder elektrisches Reibungslicht handle. Letzteres ist wohl nicht der Fall, denn in verdünnter Schwefelsäure in metallenem Gefäß und Ableitung, ist das Leuchten ganz ungeschwächt. Ob im kalten Wasser eine Blauglut der Teilchen ebensogut wie in Luft möglich wäre, ist auch nicht wahrscheinlich. Eine kaum bestreitbare Lumineszenz liegt besonders bei geschmolzenem Quarz vor. Bei Serpentin konnte ich nichts bemerken (Exemplare von 2 verschiedenen Fundorten und Farben verwendet), während P. Heinrich bei dunkelgrünen Stücken Tl. beobachtet haben will. Wir können also zusammenfassend feststellen: Die Tl. ist nicht auf den Kristallzustand beschränkt, sondern zeigt sich auch bei einer freilich sehr geringen Zahl von amorphen Stoffen, aber alle tl. amorphen Stoffe sind (nach bisheriger Erfahrung) auch im Kristallzustand bekannt (im Gegensatz zu Harzen, Leimsubstanzen, usw.). Die Lichtfarben deuten jedoch darauf hin, daß es sich bei der größern Zahl der amorphen Substanzen wahrscheinlich um ein Glühen kleiner Teilchen handelt (also nicht um eine Lumineszenz). Ich werde darüber weiteren Aufschluß suchen.

Die Bemühungen, Gesetze für die tl. Farben anzugeben, hatten bis dahin keinen Erfolg. Um in dieser Richtung eine Erleichterung zu schaffen, gebe ich eine Zusammenstellung der gegenwärtig ziemlich zahlreich vorliegenden diesbezüglichen Beobachtungen, worin ich die selbst beobachteten Fälle mit * bezeichne.

Es tl. bei Zimmertemperatur:

1. Violett (v), blauviolett (bv), violettweiß (vw).

Kadmiumsulfat (vw), Aluminiumnitrat* (bv), Natriumarseniat* (bv), Arsentrioxyd (bv), Anilinchlorhydrat (v), Salophen (v), Euchinin (v), Salizylsaures Chinin (v).

2. Blau (b), bläulich (bl), blauweiß (bw), grünblau (grb).

Aluminiumammoniumsulfat* (b), Aluminiumkaliumsulfat* (b), Mangankaliumsulfat* (b), Zinkkaliumsulfat* (bl), Natriumchlorid* (bw), Natriumbromid (bw), Natriumjodid (bw), Kaliumchlorid (bw), Kaliumbromid (b), Strontiumbromat (bw), Uranylkaliumsulfat* (grb), [Diamant (b)], Korund Al_2O_3, farbloser und blauer (bl), Wollastonit (b), Baritokalzit von Cumberland (b), Guanajuatit von Chile (b), Kryolit (b), Kryolitionit (b), Chiolith vom Ilmengebirge (bl), Glas (b), Saccharose (bl), Zucker (bl), Salophen (b), Acenaphten (b), Chinasäure (b), *m*-Oxybenzoesäure (b), Aconitin (b), Atropin (b), Chinchonamin (b), Salzsaures Chinchonin (b), Salzsaures Cytisin (b), Salzsaures Orexin (b), Jodwasserstoffsaures Chinin (b), Meconin (b), Orexin (b), *O*-Kresol (bw), Phenolphtalein (b), Pikrotoxin (b), Schwefelsaures Chinidin (b), Schwefelsaures Chinchonin (b), Chinintartrat (b), Chinchonintartrat (b).

3. Grün (g), grünlich (gl), blaugrün (bg), grünweiß (gw).

Magnesiumnatriumsulfat* (g), Mangansulfit* (gl), Uranylnitrat* (g), Kalziumnitrat* (bg), Wolframsaures Kalzium* (bg), Kaliumjodid (gw), β-Naphtol* (g), Pentadecyl-*p*-tolylketon (g), Hippursäure (g), Schwefelsaures Chinin (gl), Thallin (g).

4. Gelb (ge), blaugelb (bg).

Quarz* (gew. Quarz, Bergkrist. und geschm.) (ge), künstl. Masse von W. S. Andrews ($ZnCO_3 + S +$ Spur $Mn(SO_4)_2$, geglüht) (ge), Mangankaliumsulfat* (ge), Kadmiumsulfat* (ge mit etwas violett), Opiansäure (ge), Phthalsäure (ge), Wasserfreie Phthalsäure (ge), Anthrazen (ge), Cascarillin (ge), Colchicein (ge), Colchicin (ge), Corydalin (bg), Bromwasserstoffsaures Chinchonin (ge), Schwefelsaures Chelidonin (ge), Schwefelsaures Conchinamin (bg), Anthrachinon (ge).

5. Orange (o), goldfarbig (gf).

Zinksulfid, *Mn*- und *Mg*-haltig, geglüht* (o), Zunyit, Formel nach Groth $Al_2(SiO_4)_3[Al(OH)F_1Cl_2]_3$(gf), Tremolit vom Gotthard und Vesuv (gf), Leikofan (gf), Prosopit $2Al(F,OH)_3Ca(F,OH)_2$ (gf).

6. Rot (r), rosa (ra), blutrot (br), karminrot (kr).

Arsenopyrit FeS_2FeAS_2 (br), Korund vom Ural (ra), Rubin (kr), Dolomit (r) (wahrscheinlich Temp.-Strahlg.).

7. Weiß.

Natriumkarbonat*, Cumarin.

Spektren: Zucker, kontin., brechbares Ende bis Linie *F*; Saccharose gleich wie Zucker; Hippursäure (grün), kontin., brechbares Ende.

Die Zusammenstellung zeigt, daß das Licht in den weitaus häufigsten Fällen blau (ca. 47 Proz.), nicht selten auch gelb oder orange (ca. 25 Proz.), dagegen seltener violett und besonders rot und weiß ist. Das Rot kommt nur bei den Mineralien vor, so daß man sich fragen kann, ob es sich dabei nicht um eine Temperaturstrahlung handle. Ein anschauliches Bild der ungefähren Farbenhäufigkeit über dem sichtbarem Spektrum gibt Fig. 2. Es ist dies natürlich eine Darstellung von Wahrscheinlichkeitswerten, welche aber durch die ziemlich große Beobachtungszahl gerechtfertigt erscheint. In Verbindung damit zeichnete ich eine Schätzungskurve der durchschnittlichen Lichtstärke ein, sie hat ungefähr die Form der Empfindlichkeitskurve des Auges. (Die maximale Lichtstärke würde etwa zusammenfallen mit dem Kulminationspunkt, aber auch im grünen und blauen Teil treten Maxima auf.

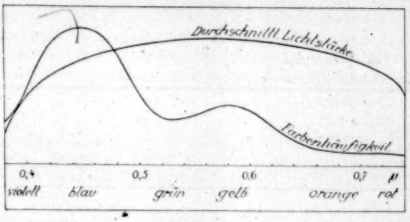


Fig. 3.

Durch was die Farbe, die, wie aus übereinstimmenden Beobachtungen hervorgeht, für ein und dasselbe Material (mit Ausnahme weniger Mineralien) spezifisch ist, bedingt wird, ist nicht ersichtlich, sicher nicht durch das Kation. Ich habe schon mitgeteilt, daß sie von der Temperatur abhängig ist, freilich nicht in dem eindeutigen Sinne, wie dies bei der Temperaturstrahlung der Fall ist. Diese Frage soll durch ausgedehntere Versuche noch genauer beantwortet werden. Van Eck hat mit dem blauen Licht des Salophens die photographische Platte schwärzen können.

Ich benütze zum Schlusse die Gelegenheit, eine Beobachtung mitzuteilen, die zwar in ein Nachbargebiet der Tl. gehört: Flußspat zeigt bekanntlich eine sehr schöne Thermolumineszenz. Der eine, den ich untersuchte (weiß oder hellgrün) zeigte die normale Farbwechselerscheinung, gleichgültig, ob die Temperatur etwas im Ansteigen oder Fallen begriffen war; er wurde erst graugrün, dann violett und nach einiger Zeit (Dauer verschieden, je nach Kristallgröße) wieder grün. Ein anderer aber, von anderem Fundort, von grüner Farbe, wurde stets während der Temperatursteigerung prächtig rubinrot und während des Sinkens der Temperatur ebenso schön smaragdgrün, das sehr oftmals hintereinander. Eine ähnliche Beobachtung wurde meines Wissens nirgends angegeben.

Meinem hochverehrten ehem. Lehrer, Herrn Prof. Dr. K. Egli danke ich für seine zahlreichen fördernden Ratschläge, vielen Literaturangaben und das rege Interesse, mit dem er meine Arbeit stets verfolgt hat, dann auch für die zuvorkommendste Überlassung mancher Materialien. Ebenfalls sehr zu Dank verpflichtet bin ich Herrn Prof. Dr. A. Bistrzycki für die freundliche Zustellung von Literatur, meinem Freunde Herrn A. Winiger für manche Mithilfe bei den Experimenten und Herrn E. Kotliar für die Übersetzungen aus dem russischen Text.

Zusammenfassung.

Die vorliegende Arbeit ist ein Beitrag zu den Kenntnissen der Tribolumineszenz im allgemeinen. Die Resultate, welche nach kurzer Einführung in das Gebiet durch eigene Versuche mit gelegentlicher Zuhilfenahme bekannter Beobachtungen mitgeteilt werden, sind folgende:

1. Für jede Substanz gibt es eine spezifische kleinste Kristallgröße, bei welcher sie noch tribolumineszient. Diese ist um so kleiner, je größer die Lumineszenzhelligkeit und liegt zwischen den ungefähren Grenzen von 0,002—4 mm Durchmesser.

2. Die Tribolumineszenz-Intensität ist eine Funktion der Substanztemperatur in dem Sinne, daß die Helligkeit bei höherer Temperatur geringer ist, als bei tiefer, bei einer gewissen tiefen Temperatur aber wieder abnimmt (Kurve). Die Helligkeitsunterschiede sind bei den verschiedenen Substanzen von ganz verschiedener Größe. Das beobachtete Temperaturintervall liegt zwischen Rotglut und — 80°.

3. Die Tribolumineszenz ist bei phosphoreszierenden Substanzen kaum geschwächt auch dann vorhanden, wenn die Phosphoreszenz durch Erwärmung nahezu verschwunden ist.

4. Es wurden ca. 87 anorganische Stoffe auf Tribolumineszenz geprüft und 25 Proz. als tribol. befunden; ferner wurden eine Anzahl Mineralien und amorphe Substanzen auf dieselbe Eigenschaft hin untersucht.

5. Fast alle anorganischen Doppelsalze, welche Sulfate sind von Kalium oder Ammonium (wahrscheinlich auch der andern Alkalimetalle) und eines andern Metalles tribolumineszieren, und alle, welche Chloride der genannten Metalle sind, tribolumineszieren nicht.

6. Im allgemeinen gilt die Regel, daß wenn anorganische Salze chemisch nahe verwandt sind, sie sich hinsichtlich der Tribolumineszenz gleich verhalten. Eine Anzahl solcher Gruppen wurde zusammengestellt.

7. Elemente tribolumineszieren wahrscheinlich nicht.

8. Salze von im übrigen gleicher chemischer Zusammensetzung, aber verschiedenem Kristallwassergehalt, sind hinsichtlich der Tribolumineszenz als durchaus verschiedene Substanzen zu betrachten. Am häufigsten ist das höchste Hydrat tribolumineszent, aber auch andere Fälle kommen vor.

9. Die Tribolumineszenz ist nicht auf den Kristallzustand beschränkt, sondern zeigt sich auch bei einer sehr kleinen Zahl von amorphen Substanzen, welche auch im kristallisierten Zustand bekannt sind (Tabelle dazu).

10. Eine Zusammenstellung von 88 Substanzen mit den zugehörenden tribolum. Farben wurde gegeben. Das Licht ist in ca. 47 Proz. aller Fälle blau, in 25 Proz. gelb oder orange, seltener violett, sehr selten rot oder weiß; rot nur bei den Mineralien (Kurve der Farbenhäufigkeit und durchschnittl. Lichtstärke als Funktion der Wellenlänge). Die durchschnittliche Lichtstärke ist am größten im Gelb, am kleinsten im Violett (vielleicht Empfindlichkeit des Auges).

11. Die Tribolumineszenz-Farbe ist abhängig von der Temperatur in der Weise, daß sich die Wellenlänge je nach der Substanz in verschiedenem Sinne mit der Temperatur ändert.

12. Es wird ein Fall erwähnt, wo die Thermolumineszenz-Farbe bei ansteigender Temperatur stets gleich bleibt (rot) und sofort bei sinkender Temperatur in eine andere, während des Sinkens auch gleich bleibende Farbe (grün) umschlägt.

Eine neuere Literaturübersicht wird gegeben.

Betr. einiger Einzelheiten muß auf den ausführlichen Bericht verwiesen werden.

Literatur und Anmerkungen.

Die ältere Literatur soll nicht wiederholt werden, da sie schon in verschiedenen leicht zugänglichen Arbeiten aufgezählt ist. Diejenigen der hier erwähnten Veröffentlichungen, welche selbst wiederum eine große Zahl von Literaturangaben enthalten, sind mit * bezeichnet. Von 1905 an enthält das folgende Verzeichnis wohl alles, was für die Tribolumineszenz irgendwie von Bedeutung ist.

1) L. Tschugaeff, Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. **34,** 1820, 1901.

2) H. Grüne, „Über phosphoreszierendes Zinksulfid". Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. **15,** 3983, 1904.

3) A. Bistrzycki u. J. Gyr, „Über den tribol. Stammkohlenwasserstoff des Rosanilins". Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. **15,** 3697, 1904.

4) P. Schorigin, „Die Lichterscheinungen während der Kristallisation und die temporäre Tribol.: Über chem. Lumineszenz". Diss. Freiburg i. B. 1905 (Speyer & Kaerner).

5) Eakle u. Scharwood, Eng. and. Min. Journal **77,** 1000, 1904. (Ist ein Bericht über ein bes. schönes Vorkommen der Tribol. an mineral. Zinksulfid.)

6) Trautz u. Schorigin, „Kristallolum. u. Tribolum.". Zeitschr. für wissenschaftl. Photogr., Photochemie usw. **3,** 80, 1905; II, S. 1010.

7) *M. Trautz, Zeitschrift für phys. Chemie 1905, Heft 1 (zusammenfassende größere Arbeit u. Literaturangaben).
8) M. Trautz, „Bemerkungen zu der Arbeit des Herrn Gernez". Diese Zeitschrift **10**, 15/4 (16/3), S. 255—58, 1909.
9) *M. Trautz, Ion. II. S. 77—128, Mai (7/2), Freibg. i. B. (Zusammenfassender Bericht über die Tribo-, Kristallo-, Kryo- u. Lyolum. und Literaturübersicht).
10) Guinchant, Comptes rendus **140**, 1170, 1905.
11) D. Gernez, „Tribolum. des composés métalliques". Comptes rendus. Ac. Ps. **140**, 1905, I, S. 1337—1339.
12) D. Gernez, „Sur la lumière émise par les cristaux d'acide arsénieux", loc. cit. S. 1134.
13) D. Gernez, Annales de chim. et de phys. **15** (8), 516, 1908.
14) D. Gernez, „Sur la tribolum. du sulfate de potassium". Comptes rendus. Ac. Ps. **140**, 1905 I, S. 1234.
15) *B. Lindener, „Tribol. d. Mineralien". Bull. de l'Acad. des sciences de St. Pétersbourg 1910; S. 999—1022 (russ. Spr.).
16) B. Lindener, „Kristallo-, Tribo- u. Pyrolum. v. $KNaSO_4$".
17) W. Wernadski, „Zur Frage nach d. Tribol. (Ref. z. d. 1. Arb. v. Lindener), Bull. Acad. St. Pétersbourg 1037—41, 1910.
18) Ostromisslenski, „Über die Natur der Tribol.". Journal Russ. Phys. Chem. Ges. **42**, 591—606, 10/6.
19) Adrien Karl, „Über die Tribolum. v. zinkhalt. Substanzen". C. r. de l'Acad. des sciences **144**, 841—43 (22/4).
20) Adrien Karl, „Über die Tribolum. von Mineralien". C. r. de l'Acad. des sciences **146**, 1104—6 (25/5).
21) *Van Eck, Pharmaceutisch Weekblad **48**, 581—88 27/5, 611—14 3/6, 654—65 10/6, Febr. 1911 (holländ. Sprache).
22) E. F. Farnau, „Luminescence". The Journal of phys. chem. 1041, 1913.
23) E. F. Farnau, Le Radium 11, 168–76, 1914.
24) Tl. = Abkürzung für Triboluminescenz; ferner tl. für triboluminescieren oder triboluminescent.
25) Wurde wahrscheinlich schon von M. Trautz vermutet, da seine Zusammenstellung der Salze den Eindruck erweckt, man habe nach Gruppen gesucht.

Zürich, den 27. Januar 1917.

(Eingegangen 3. Februar 1917.)

BESPRECHUNGEN.

W. Capelle, Berges- und Wolkenhöhen bei griechischen Physikern (*Στοιχεῖα*, Studien zur Geschichte des antiken Weltbildes und der griechischen Wissenschaft. V). gr. 8°. III u. 47 S. Leipzig und Berlin, B. G. Teubner. 1916. M. 2.—

Die ersten Messungen von Bergeshöhen hat der Aristotelesschüler Dikaiarchos von Messene ausgeführt, und zwar um zu zeigen, daß sie gegen den Durchmesser der Erde verschwindend klein seien. Er bediente sich offenbar eines trigonometrischen Verfahrens. Als höchsten Berg fand er den Pelion, dem er eine Höhe von 10 Stadien = 1575 m gab (gegen die wahre Höhe von 1618 m). Er oder seine Nachfolger verallgemeinerten dies Resultat, indem sie 10 Stadien als Höchstgrenze von Bergeshöhen ansahen. Später, als man die Alpen kennen lernte, wurde man gezwungen, die Grenze hinaufzuschieben; sie schwankt von da ab: Poseidonios (1. Jahrh. v. Chr.) nahm 15 Stadien (2362 m) an. — Das ganze Altertum glaubte, Aristoteles folgend, die Region der Winde und Wolken liege unterhalb jener Maximalhöhe, auf Grund eines einzigen Arguments, das der Verf. in die Zeit der alten Peripatetik setzt, daß nämlich die Opferasche auf Bergesgipfeln von Jahr zu Jahr von Wind und meteorologischen Einflüssen unberührt sei. Bergbesteigungen, um diese Verhältnisse zu klären, sind im Altertum nicht unternommen. Aristoteles verdankt seine märchenhaften Angaben über Bergeshöhen und sonstiges geographisches Material, wie der Verf. glaubhaft macht, dem Ktesias oder vielmehr durch diesen dem Hekataios von Milet. — Die Abhandlung ist nicht nur als Quellenstudie wertvoll; der Verf. verfolgt die Behandlung einer naturwissenschaftlichen Einzelfrage im Altertum und gibt dadurch ein Beispiel antiker naturwissenschaftlicher Methode, das auch den Physiker interessieren wird. Wollenberg.

J. Dolder, Die Fortpflanzung des Lichtes in bewegten Medien. gr. 8°. 22 S. mit 9 Abb. Bern, Akademische Buchhandlung von Max Drechsel. 1916. M. 1.—

Im Gegensatz zur Theorie von Einstein betrachtet die vorliegende Theorie die Längen- und Zeitmaße wieder als Absolutwerte. Sie verwirft auch die Einsteinsche Annahme über die Ausbreitungsform der von einem bewegten leuchtenden Punkt erzeugten Lichtwellen und ersetzt sie, sich stützend auf das bekannte von Fresnel formulierte und von Fizeau experimentell bestätigte Gesetz über die Lichtbewegung in fließenden Flüssigkeiten, durch die neue Annahme, daß das genannte Gesetz auch für die Relativbewegung im freien Äther ($n = 1$) gelten solle. Mit der weiteren Annahme, daß die vom Leuchtpunkt auslaufenden Wellen auch in gleichförmig bewegten Körpern kugelförmig seien, folge nun, daß bei gleichförmiger Translation eines Leuchtpunktes im freien Äther die von

ihm erzeugten Wellen kugelförmig seien und konzentrisch zu der wandernden Lichtquelle.

„Nach dem Gesagten ist nun ersichtlich, daß die bekannten Paradoxien der Theorie von Einstein durch die erwähnte, den bisherigen Anschauungen entsprechende Annahme über die Ausbreitung des Lichtes bedingt sind. Da nach dieser Annahme die Lichtwellen keine Translation besitzen können, so wird die Translation, die in der Natur offenbar den Wellen zukommt, in der Theorie von Einstein mit den Längen- und Zeitmaßen verknüpft, indem diese Maße zu Relativwerten gemacht werden, die von der Translation abhängig sind."

Verf. erklärt dann den Versuch von Michelson sowie die Aberration und das Dopplersche Prinzip.

K. Uller.

Aus Natur und Geisteswelt. Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen. 8. Leipzig u. Berlin, B. G. Teubner.

558. u. 559. Bd.: N. Schmitt, Aufgaben aus der technischen Mechanik. I: Bewegungslehre, Statik. IV u. 62 Seiten; II: Dynamik. IV u. 68 Seiten. Mit zahlreichen Figuren im Text. Geheftet je M. 1.20, geb. M. 1.50.

Die vorstehenden populärwissenschaftlichen Bändchen der Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt" enthalten eine Zusammenstellung von fast 300 leichten, zumeist der Maschinenlehre entnommenen und mit Lösungen versehenen Aufgaben aus der technischen Mechanik. Vorausgesetzt werden nur ganz elementare mathematische Kenntnisse sowie eine gewisse Vertrautheit mit den ersten Grundlagen der Mechanik, deren wichtigste Lehrsätze allemal ohne Beweise kurz vorangestellt sind. Die Auswahl der Aufgaben ist offenbar sehr sorgfältig getroffen und recht vielseitig; insbesondere ist es zu begrüßen, daß die Statik und Dynamik der Flüssigkeiten mit einbezogen wurde; vielleicht hätten auch einige einfache Aufgaben aus der Festigkeitslehre beigefügt werden dürfen. Die Lösungen sind zum Teil durchaus originell und geeignet, den Leser ihrerseits zu weiterem Nachdenken anzuregen. Für eine etwaige Neuauflage wäre zu wünschen, daß gerade in einer für Anfänger berechneten Schrift überall die größte Mühe auf sorgfältigsten und eindeutigsten Ausdruck verwendet würde, um jede Irreführung des noch unbewanderten Lesers auszuschließen.

R. Grammel.

Technisches Hilfsbuch von Schuchardt & Schütte. 3. Auflage. 8°. XI u. 396 S. m. Abbild. Berlin, J. Springer. 1916. Geb. M. 2.—

Das von der bekannten Werkzeugmaschinenfirma jetzt schon in dritter Auflage herausgegebene technische Hilfsbuch enthält außer den üblichen Tafeln mathematischer, physikalischer, chemischer und technisch wichtiger Zahlenwerte eine kurze, aber äußerst lehrreiche Werkstattkunde. Die einzelnen, mit besonderen Zahlentafeln und kleinen, aber sehr scharfen Abbildungen ausgestatteten Abschnitte derselben, z. B. über Zahnräder, Bohren, Drehen, Fräsen, Schleifen und a. m., beruhen sichtlich auf großer praktischer Erfahrung und lassen das Buch zum Gebrauch in den Mechanikerwerkstätten aller physikalischen und chemischen Hochschullaboratorien geeignet erscheinen.

H. Lorenz.

Personalien.

(**Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.**)

Habilitiert: An der Technischen Hochschule Zürich Dr. Johannes Brentano (Berichtigung des Namens zu 17, 626, 1916) für Physik, Dr. Ferdinand Gonsetz für Mathematik, speziell höhere Geometrie, an der Technischen Hochschule Graz Dr. Julius Donau für Chemie.

Ernannt: Der Hauptobservator am Astrophysikalischen Observatorium bei Potsdam Geh. Regierungsrat Professor Dr. Gustav Müller zum Direktor dieser Anstalt, der a. o. Professor an der Universität Leipzig Dr. Wilhelm Blaschke zum ord. Professor der Mathematik an der Universität Königsberg.

Rücktritt vom Lehramt: Der Privatdozent für Physik an der Technischen Hochschule Berlin Dr. Ludwig Zehnder mit Schluß des Wintersemester 1916/17.

In den Ruhestand: Der ord. Professor der analytischen Chemie an der Universität Upsala Dr. Oscar Widman.

Gestorben: Der frühere ord. Professor für Ingenieur-Mechanik, Elastizitätslehre, Wärmetheorie und Aeromechanik an der Technischen Hochschule Stuttgart Dr. Jakob v. Weyrauch, der Privatdozent für Chemie an der Universität Berlin, Dozent für Nahrungsmittelchemie, sowie für chemisch-technische Analyse an der Technischen Hochschule in Berlin und Vorstand der Kaiserlichen Technischen Prüfungsstelle Wirklicher Geheimer Oberregierungsrat Professor Dr. Karl von Buchka, der a. o. Professor der Chemie an der Technischen Hochschule Zürich Dr. Emil Joseph Constam, der Direktor der chemischen Laboratorien am Institut National Agronomique in Paris Professor Karl Stantz, Mitglied der Académie des Sciences, der ord. Professor der höheren Geometrie an der Universität (Sorbonne) und ständiger Sekretär der Akademie der Wissenschaften in Paris Gaston Darboux, der ord. Professor der Mathematik an der Universität Bonn Geh. Regierungsrat Dr. Franz London, der emer. ord. Professor der Ingenieurwissenschaften an der Technischen Hochschule Darmstadt Geh. Baurat Dr.-Ing. Eduard Sonne im 89. Lebensjahre, der ord. Professor für Pharmakognosie und pharmazeutische Chemie an der Technischen Hochschule in Zürich Dr. Carl Hartwich.

Angebote.

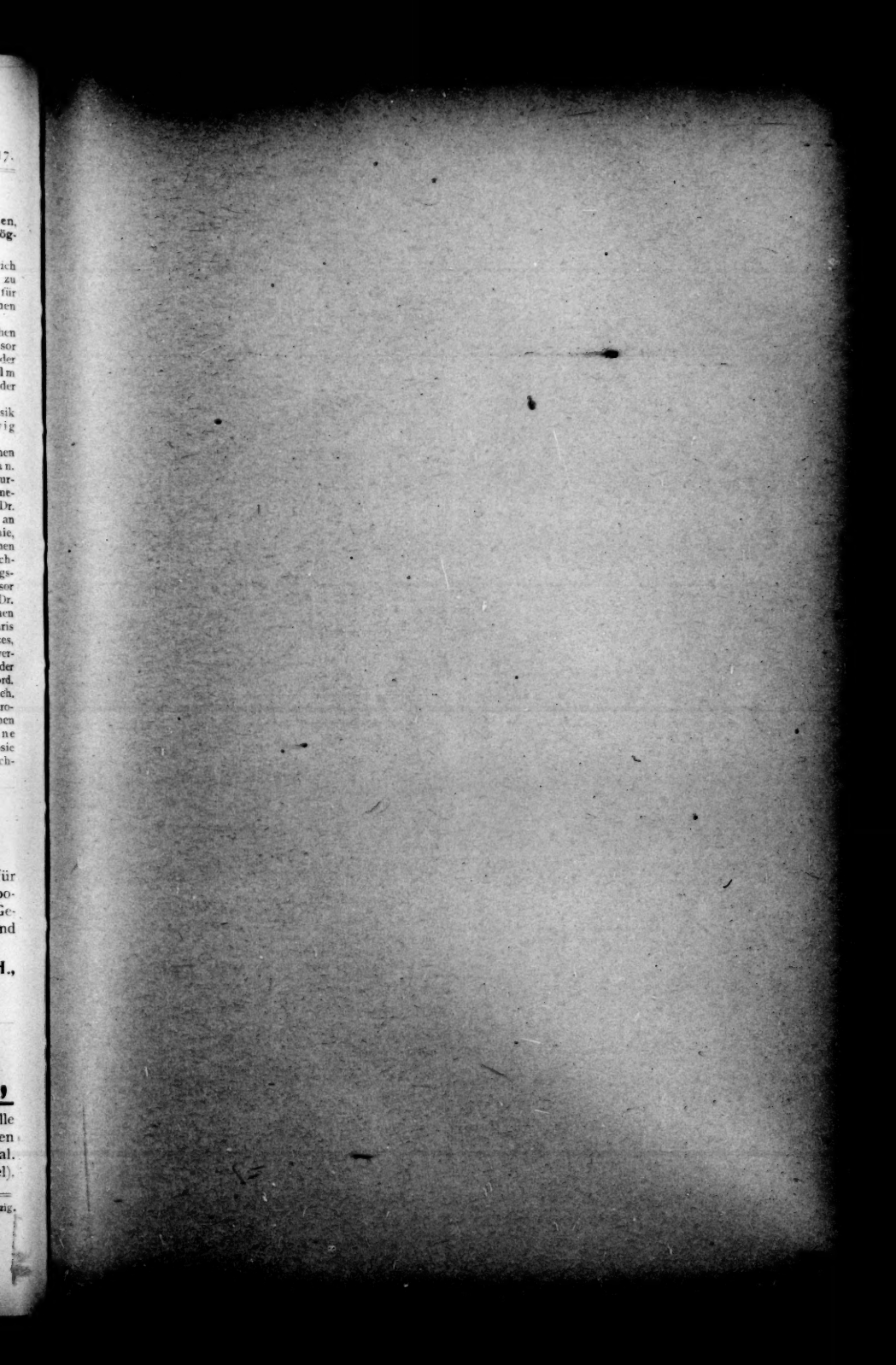
Physiker

mit experimentellem Geschick und Verständnis für die Forderungen der Technik für unser Laboratorium gesucht. Angebote mit Lebenslauf, Gehaltsansprüchen und womöglich Lichtbild sind zu richten an

Telegraphie-Gesellschaft m. b. H., System Stille, Berlin W. 30, Nollendorfplatz 9.

Gesuche.

Promovierte Physikerin,

bis jetzt als Mittelschullehrerin tätig, **sucht** Stelle an einem Laboratorium. Zuschriften erbeten unter **W. G. 488** an die Expedition der Physikal. Zeitschrift in Leipzig, Königstraße 2 (S. Hirzel).

Für die Schriftleitung verantwortlich Geh. Regierungsrat Prof. Dr. H. Th. Simon in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.